



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών
Τμήμα Ναυτικής Μηχανολογίας

Τίτλος Διπλωματικής:

«Εξοικονόμηση ενέργειας σε πλοία και λιμάνια με τοποθέτηση φωτισμών LED»

Χαρόπουλος Ευστάθιος

Επιβλέπων: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης

Οκτώβριος 2022

Contents

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ.....	7
Τυποποίηση προτύπων φωτισμού, βέλτιστου φωτισμού και πιθανών προτύπων φωτισμού για ένα πλοίο.....	9
Συνιστώσες που επηρεάζουν τον φωτισμό των χώρων.....	11
Πίνακας του ABS για τον φωτισμό του πλοίου.....	13
2 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΛΙΜΑΝΙΑ.....	19
Γερανός.....	20
High Mast.....	20
Προβλήματα λάθος φωτισμού	21
Ρύπανση	21
Διαρροή φωτός.....	22
Λάμψη.....	22
Παλιοί Τρόποι Φωτισμού σε Λιμάνια	23
Σύγχρονοι Τρόποι Φωτισμού σε Λιμάνια.....	23
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	25
CCT (correlated color temperature).....	25
Πως επηρεάζει η θερμοκρασία του φωτός τον εργαζόμενο	26

CRI (color rendering index).....	26
4° ΚΕΦΆΛΑΙΟ: LED	31
P-N Junction.....	32
Η βασική αρχή ενός P-N Junction είναι η εξής	33
Doping.....	33
Ιδιότητες.....	33
Μεροληψία.....	34
OLED.....	39
Τροφοδοσία (LED Driver).....	39
Τροφοδοσία Σταθερής Τάσης ή Σταθερής Έντασης Ρεύματος	42
Εσωτερική τροφοδοσία και εξωτερική τροφοδοσία.....	44
LED Dimming	44
Χρόνος ζωής τροφοδοσίας.....	48
AC – DC converter (Ανορθωτής).....	48
Εξομάλυνση εξόδου ανορθωτή.....	51
Σύγκριση LED – CFL – Πυρακτώσεως – Αλογόνου	53
Πυρακτώσεως:	53
Αλογόνου:	54
CFL (Compact Fluorescent Lamps):	54
Φωτεινότητα:	54

Ισχύς:.....	55
Θερμότητα:	55
Διάρκεια ζωής:.....	56
Συντελεστής Ισχύος (Power Factor)	58
Συμπεριφορά λαμπτήρων LED και CFL στην περίπτωση πτώσης τάσης.....	59
ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΤΑΣΗΣ	64
LED.....	64
CFL	67
5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ.....	70
Αρμονική παραμόρφωση	71
Αρμονική παραμόρφωση τάσης	73
Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση.....	74
Συνέπειες των αρμονικών	75
Το Skin Effect	76
Πως περιορίζονται οι αρμονικές παραμορφώσεις	77
Διαδικασία αξιολόγησης ποιότητας ισχύος:	78
Πειραματισμός	78
6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΛΑΜΠΕΣ LED	83
Αγωγιμότητα.....	85
Μεταφορά	86

Θερμοκρασία διασταύρωσης	86
Επιδράσεις στα οπτικά χαρακτηριστικά	87
Επιδράσεις στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά	89
Διαχείριση θερμότητας	89
Ψύκτρες (Heat Sink)	91
Υλικό Ψύκτρας	92
Σχήμα Ψύκτρας	92
Μικρή ιστορική αναδρομή της βιομηχανίας των πορθμείων στην Ευρώπη	93
Ο φωτισμός στα πορθμεία	96
Ενεργειακή απόδοση των λαμπτήρων LED συγκριτικά με τους συμβατικούς λαμπτήρες.....	98
Η εκτιμήσεις των ρύπων του πλοίου	100
Κόστος Λαμπτήρων LED.....	103
Συμπεράσματα	Error! Bookmark not defined.

Abstract

Οι χρήσεις ενεργειακά αποδοτικών πηγών φωτός στα πλοία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον σημερινό ναυτιλιακό τομέα. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η απόδοση του συστήματος φωτισμού ενός πλοίου γραμμής που πραγματοποιεί το δρομολόγιο Πειραιάς – Χανιά. Στη μελέτη περίπτωσης προτείνεται η χρήση λαμπτήρων με δίοδο εκπομπής φωτός (LED) στο πλοίο αντί του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού. Τα υπάρχοντα συστήματα φωτισμού του πλοίου συγκρίνονται

με τους λαμπτήρες τεχνολογίας LED ως προς την οικονομική, περιβαλλοντική και υλική απόδοση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το ενεργειακά αποδοτικό σύστημα φωτισμού στα πλοία μειώνει το λειτουργικό κόστος, την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές καυσαερίων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα φωτισμού.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, η ανθρωπότητα ζούσε υπό την επίδραση του ηλεκτρικού φωτισμού. Ο ηλεκτρικός φωτισμός είναι εύκολος σε σύγκριση με τους παλαιότερους τρόπους όπως η κηροζίνη και τα κεριά. Εξάλλου, ο φωτισμός γίνεται όλο και πιο ζωτικός στις ανθρώπινες ζωές και ερευνάται σχεδόν από κάθε άποψη. Παραδείγματος χάρη ο φωτισμός έχει ευεργετική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, πόσο μάλλον όταν σχετίζεται με τον περιβάλλον εργασίας. Σημαντικές βελτιώσεις έχουν γίνει στις τεχνολογίες βιομηχανικού φωτισμού τα τελευταία χρόνια, για παράδειγμα, η ανάπτυξη των λαμπτήρων LED. Ενώ μπορεί να υπήρχε η τάση της υπόθεσης ότι ο φωτισμός αποτελεί ένα εργαλείο για αποτελεσματικές λειτουργίες, γίνεται όλο και περισσότερο αποδεκτό ότι ο φωτισμός έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ασφάλεια, την απόδοση, το περιβάλλον καθώς και το λειτουργικό κόστος.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εν λόγω διπλωματικής θα γίνει μια πρώτη αναφορά σχετικά με τη σημαντικότητα του φωτισμού και κατά πόσο αυτός, επηρεάζει της συνθήκες εργασίες σε ένα πλοίο. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλυθεί η αναγκαιότητα του σωστού φωτισμού στα λιμάνια και τις αποβάθρες. Στη συνέχεια το τρίτο κεφάλαιο εξετάζει τα βασικά στοιχεία του σύγχρονου φωτισμού όπως η θερμοκρασία. Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τη τεχνολογία LED με εκτενείς πληροφορίες σχετικά με το πως δουλεύουν οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες, την αποδοτικότητα τους

και γενικότερα όλα τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες τους. Το πέμπτο κεφάλαιο αναλύει της αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και το ρόλο της τεχνολογίας LED σε αυτές. Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ανάλυση της Θερμότητας των λαμπτήρων LED και των τρόπων που αυτή έχει επίδραση σε διάφορες λειτουργίες όπως τα ηλεκτρικά και οπτικά χαρακτηριστικά, επίσης θα εξεταστεί και το ζήτημα διαχείρισης της θερμότητας. Τέλος γίνεται μία μελέτη περίπτωσης για ένα επιβατηγό πλοίο και για λιμάνια.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ

Ο σωστός φωτισμός στους χώρους του πλοίου είναι πολύ σημαντικός ώστε να επιτρέπει στο πλήρωμα να εργάζεται και να μετακινείται με ασφάλεια μέσα στους χώρους του, αλλά και στη συμβολή της ύπαρξης ενός ιδανικού περιβάλλοντος εντός του πλοίου. Συνεπώς για να πραγματοποιηθεί ένας κατάλληλος σχεδιασμός του τρόπου που θα φωτιστούν οι χώροι του πλοίου πρέπει να ληφθούν υπόψιν όλα τα παραπάνω στοιχεία ώστε να παρέχεται ικανός φωτισμός για την ασφάλεια και την ευεξία του πληρώματος, αλλά και για τις διάφορες εργασίες που γίνονται πάνω στο πλοίο.

Γενικότερα, τα πλοία φωτίζονται από ηλεκτρικούς λαμπτήρες και/ή φθορισμού που προέρχονται από γεννήτριες. Σήμερα, οι κοινές τεχνικές φωτισμού αντικαθίστανται από την τεχνολογία LED (Light Emitting Diode), η οποία παρέχει μακροχρόνιο και πιο αποτελεσματικό φωτισμό. Η τεχνολογία φωτισμού στα πλοία συγγέεται επίσης και στη τεχνολογία LED, καθώς η ναυτιλιακή βιομηχανία στοχεύει γενικά σε μεγαλύτερη απόδοση. Μια βιβλιογραφική ανασκόπηση αποκαλύπτει ότι ο φωτισμός των πλοίων ήταν ένα φλέγον ζήτημα, ιδιαίτερα ο αποτελεσματικός φωτισμός, από τότε που εμφανίστηκε ο όρος «πράσινη ναυτιλία». Τα «πράσινα πλοία» που υποστηρίζονται από τεχνολογία φωτισμού LED μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας και απαιτούν λιγότερη ενέργεια για το ίδιο επίπεδο φωτισμού. Οι λαμπτήρες LED προσφέρουν τουλάχιστον διπλάσια απόδοση από τους λαμπτήρες φθορισμού και είναι σχεδόν δέκα φορές πιο αποδοτικοί από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Παρά το γεγονός ότι ο φωτισμός του πλοίου διατηρεί τη σημασία του όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, την ανθρώπινη άνεση και την επαγγελματική ασφάλεια, οι τιμές φωτεινότητας εξακολουθούν να μην έχουν καθοριστεί επαρκώς από την πλειονότητα των Υπηρεσιών Σημιαίας νηολόγησης και νηογνώμωνων ώστε να επιτρέπεται η αντικατάσταση του φωτιστικού εξοπλισμού επί του πλοίου.

Ο βελτιστοποιημένος φωτισμός στο πλοίο είναι μια σημαντική πτυχή για την καθημερινή ζωή, το ηθικό και την προθυμία των πληρωμάτων για εργασία. Η πρόιμη έρευνα για τον φωτισμό των πλοίων ξεκίνησε από τη Ναυτική Βιομηχανία των Ηνωμένων Πολιτειών. Το Υπουργείο Άμυνας Naval Sea Systems Command δημοσίευσε ένα εγχειρίδιο για τον Φωτισμό στα πλοία του Πολεμικού Ναυτικού ως μια πρωτοποριακή μελέτη που αρχικά προσδιορίζει τις ικανότητες του ανθρώπινου ματιού και συνεχίζει ορίζοντας και προσδιορίζοντας πτυχές που σχετίζονται με τον φωτισμό. Το εγχειρίδιο παρέχει σαφή πρότυπα για τον φωτισμό των πλοίων του πολεμικού ναυτικού, χωρίζοντας τον φωτισμό σε γενικές απαιτήσεις φωτισμού και λεπτομερείς απαιτήσεις φωτισμού. Επιπλέον, οι Elliott και Kobus (1992) πραγματοποίησαν μια μελέτη σχετικά με την τυποποίηση του φωτισμού των πλοίων: φωτιστικά και λαμπτήρες φωτός σε πλοία του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ. Η μελέτη συνέστησε την πλήρη τυποποίηση του φωτισμού των πλοίων για τη βελτιστοποίηση της ανθρώπινης απόδοσης σε αυτά. Επιπλέον, το ABS (Αμερικανικό Γραφείο Ναυτιλίας) εξέδωσε έναν οδηγό για τη ζωή του πληρώματος στα πλοία τον Δεκέμβριο του 2001. Ο οδηγός στοχεύει στον καθορισμό κριτηρίων αξιολόγησης. Η έκτη ενότητα του οδηγού θέτει διάφορα κριτήρια για τους χώρους διαμονής του πληρώματος, τους χώρους πλοήγησης και ελέγχου, τους χώρους εξυπηρέτησης, τους χώρους λειτουργίας και συντήρησης και τον κόκκινο ή χαμηλό λευκό φωτισμό.

Σε κανονιστική βάση, τα πρωτοποριακά πρότυπα για τον φωτισμό σε εμπορικά πλοία αναφέρονται στη Σύμβαση σχετικά με τη διαμονή του πληρώματος επί του πλοίου (ILO 92), η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 29 Ιανουαρίου 1953. Η απαίτηση φωτισμού ορίζει βασικά ότι όλοι οι χώροι του πληρώματος πρέπει να φωτίζονται επαρκώς. Ωστόσο, ο όρος «επαρκής φωτισμός» θα μπορούσε να θεωρηθεί υποκειμενικός. Επιπλέον, η Σύμβαση της ΔΟΕ (Διεθνής Οργάνωση Εργασίας) σχετικά με τη φιλοξενία πληρώματος στο πλοίο, τέθηκε σε ισχύ στις 27 Αυγούστου 1991, χωρίς

να διευκρινιστεί η σύγκυση σχετικά με τον επαρκή φωτισμό. Τέλος, η Σύμβαση Ναυτικής Εργασίας (MLC) του 2006 τέθηκε σε ισχύ στις 20 Αυγούστου 2012. Ωστόσο, ούτε η σύμβαση, ούτε και οι κατευθυντήριες γραμμές ορίζουν πρότυπα φωτισμού για πλοία.

Τυποποίηση προτύπων φωτισμού, βέλτιστου φωτισμού και πιθανών προτύπων φωτισμού για ένα πλοίο

Η ιστορία των προτύπων φωτισμού ξεκίνησε με το εμπάργκο πετρελαίου στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1973, αποκαλύπτοντας τη σημασία και την αξία της ενέργειας. Για πρώτη φορά στην ιστορία, ο Πρόεδρος Νίξον διακήρυξε μια πολιτική ενεργειακής απόδοσης μέσω του Γραφείου Εξοικονόμησης Ενέργειας στο Υπουργείο Εσωτερικών, και ένας από τους στόχους ήταν να μειωθεί η ομοσπονδιακή κατανάλωση ενέργειας κατά 7%. Όταν τέθηκε το εμπάργκο πετρελαίου, ο Πρόεδρος Νίξον διέταξε τα κυβερνητικά κτίρια (και αυτά του ιδιωτικού τομέα, κατά προτίμηση) να τηρούν τα επίπεδα φωτισμού περίπου 500 lux (μονάδα μέτρησης της έντασης του φωτός) για εργασίες γραφείου, περίπου 300 lux για γενικό φωτισμό/διαδρόμους, και περίπου 100 lux για πάρκινγκ. Μετά το εμπάργκο, τα προγράμματα ενεργειακής απόδοσης εξαπλώθηκαν σε άλλα τμήματα και τα περισσότερα έργα επικεντρώθηκαν στον κατασκευαστικό κλάδο, σχετικά με πιο ενεργειακά αποδοτικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού.

Σήμερα, οι οργανισμοί τυποποίησης όπως το ISO (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης) και το BSI (Βρετανικό Ίδρυμα Προτύπων) διαθέτουν πρότυπα φωτισμού ανάλογα με τον χώρο (εσωτερικός, εξωτερικός, χώρος άθλησης κ.α.). Ο βέλτιστος φωτισμός είναι απαραίτητος για την ανθρώπινη φυσιολογία. Σύμφωνα με τον Dr. Ott, το ανθρώπινο σώμα χρησιμοποιεί το φως ως θρεπτικό συστατικό για μεταβολικές διεργασίες παρόμοιες με το νερό ή την τροφή. Το φυσικό φως διεγείρει βασικές βιολογικές λειτουργίες στον εγκέφαλο και χωρίζεται σε χρώματα που είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία των ανθρώπων. Σε μια συννεφιασμένη μέρα ή κάτω από συνθήκες

ανεπαρκούς φωτισμού, η αδυναμία αντίληψης των χρωμάτων από το φως μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη διάθεση και τα επίπεδα ενέργειας των ανθρώπων.

Η εργασία στο πλοίο έχει εγγενείς παράγοντες κινδύνου. Ωστόσο, ο ανεπαρκής φωτισμός και η ανακριβής χρωματική απόδοση των χώρων εργασίας αυξάνει τον παράγοντα κινδύνου και τον αριθμό των ατυχημάτων. Έχει πραγματοποιηθεί επιτυχής έρευνα σε διαφορετικά επίπεδα φωτισμού και 347 ατυχήματα από τους Völker et al. (1995). Η μελέτη διερευνά ατυχήματα που συνέβησαν σε χώρους εργασίας ανά τύπο και τα συσχέτισε με επίπεδα lux. Το αποτέλεσμα δείχνει ξεκάθαρα ότι η ζώνη 650 - 749 lux έχει ως αποτέλεσμα τραυματισμούς με εγκαύματα, αλλά ο αριθμός των τραυματιών από διάφορων τύπων τραυματισμού είναι ακανόνιστος κάτω από διαφορετικές τιμές lux. Η γενική τάση στους τραυματισμούς μειώνεται ελαφρώς και φτάνει στη χαμηλότερη τιμή στη ζώνη 950–1049 lux. Κατά συνέπεια, η μελέτη δείχνει ξεκάθαρα ότι ο φωτισμός είναι σημαντικός για την επαγγελματική ασφάλεια της εργασίας, πόσο μάλλον όταν αυτή βρίσκεται πάνω σε ένα πλοίο. Επιπλέον, η απόδοση χρωμάτων είναι σημαντική και τα στροβοσκοπικά αποτελέσματα του φωτισμού μπορεί να είναι επικίνδυνα σε τοποθεσίες όπου είναι σημαντικό να βλέπει ο εργαζόμενος με ακρίβεια κινούμενα μέρη του μηχανήματος. Ο κίνδυνος εξαλείφεται πλήρως με φωτισμό υψηλής συχνότητας.

Σχετικά με αυτό, η φωτορύπανση που προκαλείται από το τεχνητό φως έχει επίσης ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η φωτορύπανση θα μπορούσε να οριστεί ως υπερβολικό, εσφαλμένο ή παρεμποδιστικό τεχνητό φως. Η φωτορύπανση εμφανίζεται ως επί το πλείστον τη νύχτα, όταν η παραγωγή μελατονίνης μειώνεται, επιπλέον, αυτή τη χρονική περίοδο, ο κιρκάδιος ρυθμός αλλάζει, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση, την εγρήγορση, τον ύπνο και τις μεταβολικές διαταραχές. Μια άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε για τον φωτισμό δείχνει όχι μόνο ότι η φωτορύπανση επηρεάζει την ανθρώπινη φυσιολογία, αλλά ότι η έλλειψη φωτός της

ημέρας σχετίζεται με συμπτώματα κατάθλιψης και τη κακή ποιότητα ύπνου. Έτσι, η αυξημένη πρόσβαση σε φυσικό φως και η θέα στα παράθυρα είναι πιθανό να έχει θετικά αποτελέσματα στην ψυχολογία και την ευημερία.

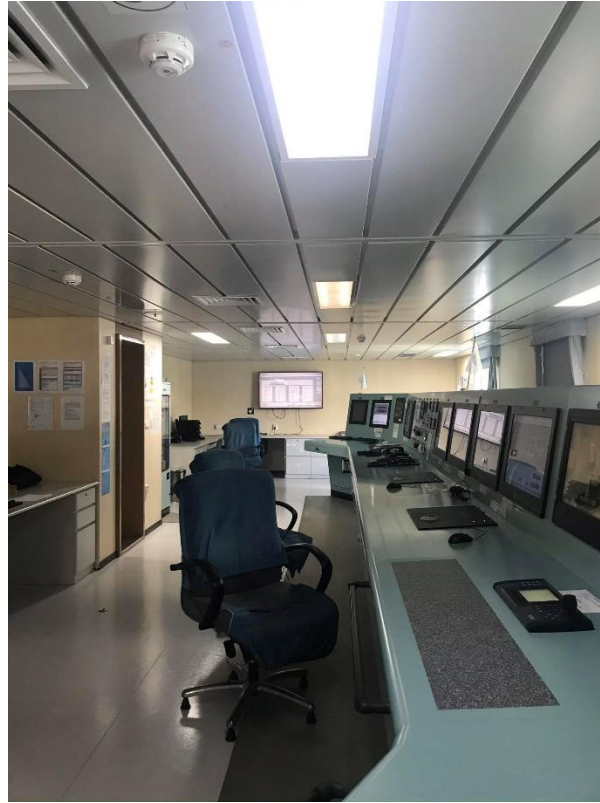
Σίγουρα, το φως είναι ένα αναπόφευκτο στοιχείο της ζωής και το τεχνητό φως μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες ενός πληρώματος μόνο μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο. Ο κάθε χώρος του πλοίου έχει διαφορετικές ανάγκες ως προς τις φωτιστικές συνθήκες του και συνεπώς η επιλογή του κατάλληλου επιπέδου φωτεινότητας για την κάθε εργασία και κάθε χώρο αποτελεί ένα πάρα πολύ σημαντικό κομμάτι κατά την σχεδίαση του συστήματος φωτισμού. Στο κομμάτι αυτό δηλαδή του επιπέδου φωτεινότητας υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις και συνεπώς για κάθε διαφορετικό χώρο ή κάθε διαφορετική εργασία οι φωτιστικές απαιτήσεις του χώρου δίνονται σε ένα εύρος τιμών.

Συνιστώσες που επηρεάζουν τον φωτισμό των χώρων.

Όσον αφορά τους χώρους ενδιαίτησης, από την στιγμή που οι εργασίες που γίνονται στους χώρους αυτούς μοιάζουν πολύ με τις αντίστοιχες εργασίες που γίνονται και έξω από το πλοίο σε χώρους κατοικίας, οι απαιτήσεις σε φωτισμό συνήθως ανταποκρίνονται στις αντίστοιχες απαιτήσεις για χώρους γραφείων, σπιτιών και διαφόρων άλλων τύπων εργασίας. Αυτό απλοποιεί αρκετά την σχεδίαση του φωτισμού για τους συγκεκριμένους χώρους. Στην περίπτωση των υπολοίπων χώρων η κατάσταση είναι αρκετά διαφορετική αφού οι εργασίες που απαιτούν φωτισμό πάνω στο πλοίο ποικίλουν. Επιπλέον για τον κατάλληλο φωτισμό στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να ληφθεί υπόψιν εκτός από το επιθυμητό επίπεδο φωτισμού και άλλοι εξωτερικοί παράγοντες που χαρακτηρίζουν την κάθε εργασία. Για παράδειγμα ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η αντίθεση του αντικειμένου που δουλεύει το μέλος του πληρώματος με το φόντο, το μέγεθος του αντικειμένου, η φωτεινότητα του, ο χρόνος που είναι διαθέσιμος για την οπτική επαφή όπως και η

αντανακλαστικότητα του. Όλα τα παραπάνω μπορούν να καθορίσουν το πόσο ευδιάκριτο είναι ένα αντικείμενο. Επίσης δεν πρέπει να παραλείπεται η χρονική διάρκεια της εργασίας στην οποία υποβάλλεται το μέλος του πληρώματος, η οπτική κούραση που προκαλεί, το πόσο κρίσιμη είναι, δημιουργία σκιών από άλλα αντικείμενα του χώρου, αντανακλάσεις από άλλες πηγές φωτός που μπορεί να μην γίνονται εύκολα αντιληπτές, η αντηλιά αλλά και η ίδια η κατάσταση της όρασης του ανθρώπου που εκτελεί την εργασία.

Τέλος από ψυχολογικής άποψης πρέπει επιπλέον να λαμβάνεται υπόψιν και η αισθητική του φωτισμού. Όταν γίνεται αναφορά στην αισθητική του φωτισμού μιλάμε για την χρωματική απόχρωση του λαμπτήρα που έχει επιλεγεί αφού μπορεί για την ίδια φωτεινότητα με διαφορετική χρωματική απόχρωση να έχουμε τελείως διαφορετικό αποτέλεσμα ως προς τον κατάλληλο φωτισμό που θέλουμε να πετύχουμε για τον συγκεκριμένο χώρο. Συμπερασματικά καταλήγουμε πως για την διαμόρφωση του κατάλληλου φωτισμού στους χώρους του πλοίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν όλοι οι παραπάνω παράγοντες αφού ο κάθε ένας είναι εξίσου σημαντικός.



Εικόνα 1.1 Χώρος πλοίου LNG

Πίνακας του ABS για τον φωτισμό του πλοίου.

Επειδή όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι παράγοντες που επηρεάζουν το πώς θα φωτιστεί κάθε χώρος του πλοίου είναι πολλοί, ο ABS με την μορφή πινάκων όπου αναφέρεται ο κάθε χώρος και η προτεινόμενη φωτεινότητα του προσπαθεί να τυποποιήσει το πώς θα φωτιστεί ο κάθε χώρος προτείνοντας συγκεκριμένες τιμές φωτεινότητας σε Lux.

TABLE 1

Lighting Criteria for Crew Accommodations Spaces

Space	Illuminance Level in Lux	Space	Illuminance Level in Lux
Entrances and Passageways			
Interior Walkways, Passageways, Stairways and Access Ways	100 (200)	Exterior Walkways, Passageways, Stairways and Access Ways (night)	100 (150)
Corridors in Living quarters and work areas	100	Stairs, escalators	150
		Muster Area	150
Cabins, Staterooms, Berthing and Sanitary Spaces			
General Lighting	150	Bath/Showers (General Lighting)	300
Reading and Writing (Desk or Bunk Light)	500	All other Areas within Sanitary Space (e.g., Toilets)	200
Mirrors (Personal Grooming)	500		
Dining Spaces			
Mess Room and Cafeteria	300	Snack or Coffee Area	150
Recreation Spaces			
Lounges	200 (300)	Gymnasiums	300 (500)
Library	500	Bulletin Boards/Display Areas	150
Multimedia Resource Center	300	All other Recreation Spaces (e.g., Game Rooms)	200 (300)
TV Room	150	Training/Transit Room Office/Meeting rooms	500
Medical, Dental and First Aid Center			
Dispensary Hospital/ward	500	Wards - General Lighting - Critical Examination - Reading Hospital/ward	100 500 (1000) 500 500
Medical and Dental Treatment/	500 (1000)		

Examination Room Hospital/ward			
Medical Waiting Areas	200 (50)		
Laboratories	500 (800)	Other Medical & Dental Spaces	300

TABLE 2

Daylight Lighting Criteria for Navigation and Control Spaces

Space	Illuminance Level in Lux	Space	Illuminance Level in Lux
Wheelhouse, Pilothouse, Bridge - When Underway	300	Offices - General Lighting - Computer Work - Service Counters	300 (500) 300 (500) 500 adjustable
Chart Room - General Lighting - On Chart Table	100 500 (1000)		
Other Control Rooms (e.g., Cargo Transfer etc.) - General Lighting - Computer Work Central Control Room	500 300 500 (adjustable)	Control Stations - General Lighting - Control Consoles and Boards, Panels, Instruments - Switchboards - Log Desk Local Instrument room	300 (500) 300 (500) 500 500 400
Radar Room	200		
Radio Room	500	Gyro Room	200

TABLE 3

Lighting Criteria for Service Spaces

Space	Illuminance Level in Lux	Space	Illuminance Level in Lux
Food Preparation : General Lighting - Galley - Pantry - Butcher Shop - Thaw Room - Working Surfaces, Food Preparation Counter and Range Tops - Food Serving Lines - Scullery (Dishwashing) - Extract Hood Store rooms Package handling/cutting	500 500 300 750 (1000) 300 750 (1000) 300 300 (500) 500 100 300	Laundries - General Lighting - Machine, Pressing, Finishing and Sorting	300 (500) 300 (750)
		Chemical Storage	300
		Storerooms - Large Parts - Small Parts - Issue Counters	200 300 100 (200)
		Elevators	100 (200)
Mail Sorting	500	Food Storage - Non-refrigerated - Refrigerated	200 100

TABLE 4

Lighting Criteria for Operating and Maintenance Spaces

Space	Illuminance Level in Lux	Space	Illuminance Level in Lux
Machinery Spaces (General)	200	Cargo Holds (Portable Lighting) - General Lighting - During Cargo Handling - Passageways and Trunk	30 300 80
Unmanned Machinery spaces	200		
Engine Room	300 (500)		
Generator and Switchboard Room	300 (500)		
Switchboard, transformer room	200		
Main generator room/switch gear	200		
Fan Room	200	Inspection and Repair Tasks - Rough - Medium - Fine - Extra Fine	300 (500) 500 (1000) 1000 (2000) 2000 (3000)
HVAC room	200		
Motor Room	300 (500)		
Motor-Generator Room (Cargo Handling)	150		
Pump Room, Fire pump room	200 (500)		
Steering Gear Room	200 (500)		
Windlass Rooms	200	Workshops	300 (500)
Battery Room	200 (500)	Paint Shop	500
Emergency Generator Room	200	Workshop office	500
Boiler Rooms	200	Mechanical workshop	500
Bilge/Void Spaces	75	Inst/Electrical Workshop	500
		Unmanned Machinery Room	200 (500)
Muster/Embarkation Area	200	Shaft Alley	100
Cargo Handling (Weather Decks)	150	Escape Trunks	30
Lay Down Area	200	Crane Cabin	400
General Process and Utility area	200		
Loading ramps/bays	150		

TABLE 5

Lighting Criteria for Deck and Cargo Handling Areas

Area	Illuminance Level in Lux
Lay down areas (tubular, bulk materials)	200
Muster areas	200
Crane Cabin	400
Cargo storage and maneuvering areas	350
Crew embarkations/debarkation areas	200
Hand signaling areas between crane shack and workboat deck	300

TABLE 6

Lighting Criteria for Red or Low-level White Illuminance

Area	Illuminance Level in Lux
Where seeing is essential for charts and instruments	1 to 20
Interiors or Spaces	5 to 20
Bridge Areas (including chart tables, obstacles and adjacent corridors and spaces)	0 to 20 (Continuously Variable)
Stairways	5 to 20
Corridors	5 to 20
Repair Work (with smaller to larger size detail)	5 to 55

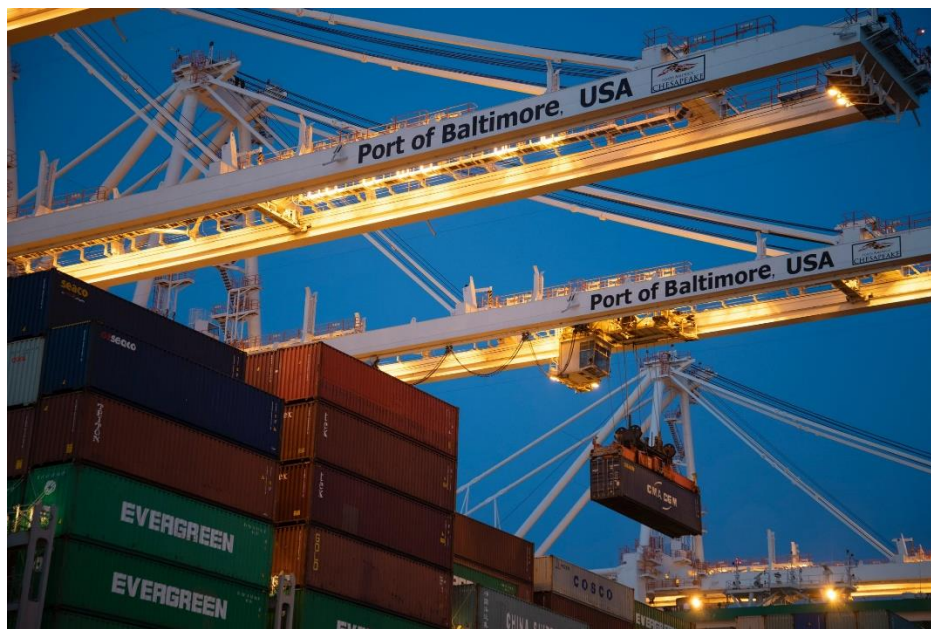
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΛΙΜΑΝΙΑ

Ο φωτισμός είναι απαραίτητος για την ασφαλή λειτουργία των λιμανιών ειδικά την νύχτα και κατά την διάρκεια δύσκολων καιρικών συνθηκών. Τα λιμάνια που έχουν εισαγάγει νεότερες τεχνολογίες φωτισμού συχνά αναφέρουν άλλα λειτουργικά οφέλη. Αν και αυτές οι βελτιώσεις δεν επηρεάζουν άμεσα το τελικό αποτέλεσμα, έχουν αντίκτυπο και επομένως είναι σκόπιμο να ληφθούν υπόψη. Πολλοί χειριστές εξοπλισμού προτιμούν νεότερες πηγές φωτισμού, καθώς τέτοιες τεχνολογίες τείνουν να προσφέρουν βελτιωμένη αντίληψη των γύρω περιοχών και μειωμένο ερεθισμό της αντανάκλασης σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Επιπλέον, ο βελτιωμένος φωτισμός τείνει να βελτιώνει την ασφάλεια και να έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη κόπωση του χειριστή.

Καθώς οι νέες εγκαταστάσεις γερανών υιοθετούν όλο και περισσότερο συστήματα απομακρυσμένης λειτουργίας που ενσωματώνουν οθόνες βίντεο, η οπτική λεπτομέρεια γίνεται όλο και περισσότερο βασικός παράγοντας όταν εξετάζονται οι επιλογές φωτισμού. Η ευκρίνεια της εικόνας και η ακρίβεια της χρωματικής απόδοσης που απεικονίζεται σε οθόνες, επηρεάζονται από την ποιότητα του φωτός και έχουν επίσης αντίκτυπο στην απόδοση του χειριστή. Επιπλέον, οι νεότερες τεχνολογίες φωτισμού, σε αντίθεση με πολλές από τις προηγούμενες, τείνουν να είναι σε πλήρη φωτισμό κατευθείαν μόλις ενεργοποιηθούν. Οι συμβατικές λύσεις φωτισμού μπορεί να χρειαστούν αρκετά λεπτά για να επιτευχθεί πλήρης φωτισμός, ο οποίος μπορεί να αφήσει τις περιοχές ανεπαρκώς φωτισμένες ή να αποθαρρύνει τους χειριστές να σβήσουν τα φώτα εξαρχής, με αποτέλεσμα να σπαταλούν ενέργεια και πόρους. Οι νεότερες πηγές φωτός συνήθως φωτίζονται αμέσως πλήρως, κάνοντας τους χειριστές να αισθάνονται πιο άνετα με το περιβάλλον τους και επιτρέποντας βελτιωμένη κίνηση γύρω από την περιοχή της αποβάθρας και γενικότερα του λιμανιού.

Γερανός

Οι γερανοί είναι πολύ βασικά κομμάτια του εξοπλισμού ενός λιμανιού καθώς βοηθάνε στην εύκολη και ασφαλή μεταφορά του εμπορεύματος από τον χώρο του πλοίου στην πρόβλημα του λιμανιού. Η περιοχή όπου τα containers φορτώνονται και εκφορτώνονται από το πλοίο πρέπει να φωτίζεται με λαμπτήρες από ύψος, που πολλές φορές φτάνει και τα 30 μέτρα. Λόγω του ύψους απαιτείται μεγάλη ένταση φωτεινότητας συνήθως πάνω από 150 με 200 Lux, ώστε οι χειριστές του γερανού να μπορέσουν να μεταφέρουν το εμπόρευμα με ασφάλεια. Επιπλέον ένα ακόμη μεγάλο θέμα που πρέπει να αντιμετωπιστεί σχετικά με τον φωτισμό είναι οι συνεχείς δονήσεις οι οποίες δεν πρέπει να επηρεάζουν την ομαλή λειτουργία του.



Εικόνα 2.1 Γερανός την νύχτα

High Mast

Στην περιοχές όπου στιβάζονται τα Containers απαιτείται τόσο οριζόντιος φωτισμός για το έδαφος όσο και κατακόρυφος αφού οι στίβες με τα containers έχουν μεγάλο ύψος με σκοπό οι εργάτες να μπορούν να μετακινούνται με ασφάλεια στην περιοχή . Ο φωτισμός αυτός επιτυγχάνεται με την

τοποθέτηση των λαμπτήρων σε ύψος μεγαλύτερο από 30 μέτρα γεγονός που απαιτεί την αντοχή σε δυνατούς ανέμους και δονήσεις.



Εικόνα 2.2 Λιμάνι κατά την διάρκεια της νύχτας.

Συγκεκριμένα όταν το λιμάνι είναι σωστά φωτισμένο οι χειριστές των γερανών αλλά και όσοι βρίσκονται στο κατάστρωμα του πλοίου μπορούν να εργαστούν με ασφάλεια διότι αυτό επιτρέπει την ασφαλή μεταφορά και διαχείριση του φορτίου, δημιουργεί ένα φωτεινό περιβάλλον δίχως να προκαλεί ρύπανση στην γύρω περιοχή με επιπλέον φως γεγονός που είναι πολύ σημαντικό αφού συνήθως τα λιμάνια βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

Προβλήματα λάθος φωτισμού

Ρύπανση

Όταν γίνεται αναφορά για ρύπανση φωτός ουσιαστικά πρόκειται για σπατάλη τεχνητού φωτός που κατευθύνεται προς τα πάνω (τον ουρανό). Η περίσσια αυτή φωτεινότητα διαταράσσει την

άγρια ζωή, είναι μεγάλη σπατάλη ενέργειας και αποκρύπτει τον νυχτερινό ουρανό. Οργανισμοί όπως η Διεθνής Ένωση Dark-Sky αυξάνουν την ευαισθητοποίηση του κλάδου για τη ρύπανση του φωτός σε μια προσπάθεια «διατήρησης της νύχτας». Η ένωση έχει θεσπίσει ένα πρόγραμμα πιστοποίησης για τους κατασκευαστές φωτιστικών για την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του φωτός.

Τα LED και παρόμοιες τεχνολογίες είναι μικρότερες και πιο ελεγχόμενες πηγές φωτός από τις συμβατικές επιλογές. Κάθε LED, για παράδειγμα, μπορεί να ελεγχθεί μέσω φακού για να κατευθύνει το φως όπου χρειάζεται, και να μειώσει τη ρύπανση του φωτός, τη διαρροή φωτός και το έντονο φως. Σε σύγκριση με ορισμένους συμβατικούς φωτισμούς, οι λυχνίες LED μπορούν να μειώσουν τη ρύπανση του φωτός έως και 50 τοις εκατό και τα απόβλητα ενέργειας έως και 70 τοις εκατό.

Διαρροή φωτός

Η διαρροή φωτός αναφέρεται στο φως που εκπέμπεται σε ανεπιθύμητους χώρους. Η συμβατική τεχνολογία φωτισμού και ο αναποτελεσματικός σχεδιασμός είναι οι κύριες αιτίες διαρροής φωτός.

Λάμψη

Η λάμψη είναι μια οπτική αίσθηση που δημιουργείται από υπερβολική και ανεξέλεγκτη φωτεινότητα. Είναι ένας βασικός παράγοντας σχεδιασμού φωτισμού που πρέπει να λαμβάνετε υπόψη, ειδικά για εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους. Το έντονο φως μπορεί να χαρακτηριστεί με δύο τρόπους: το «έντονο θάμπωμα της δυσφορίας» δημιουργεί ερεθισμό και / ή ενδεχόμενο πόνο για τον χειριστή, καθώς και το «αντηλιά αναπηρίας», όπου δημιουργεί μια πραγματική μείωση της ορατότητας. Και τα δύο προβλήματα επηρεάζουν την ικανότητα ενός ατόμου να εκτελεί εργασίες επηρεάζοντας την παραγωγικότητα και την ασφάλεια. Σύμφωνα με το Γραφείο

Στατιστικής Εργασίας στις ΗΠΑ, το 9% των συνθηκών στο εργοτάξιο που συμβάλλουν σε τραυματισμούς ήταν ο κακός φωτισμός ή η χαμηλή ορατότητα.

Παλιοί Τρόποι Φωτισμού σε Λιμάνια

Η τεχνολογία αλογονιδίου μετάλλων αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1960. Αν και η απόδοση του αλογονιδίου μετάλλου είναι ίσως λιγότερο ευνοϊκή για τις πιο σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις, τότε ήταν προηγμένη τεχνολογία. Η απόδοση χρώματος που σχετίζεται με το αλογονίδιο μετάλλου είναι αρκετά υψηλή, καθιστώντας την προτιμώμενη επιλογή όταν η ακρίβεια χρώματος είναι κρίσιμη

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης (HPS) αναπτύχθηκαν περίπου την ίδια περίοδο με τους λαμπτήρες αλογονιδίου μετάλλων. Με τη χρήση νατρίου, οι ερευνητές ανέπτυξαν μια επιλογή με μεγαλύτερο βαθμό αποτελεσματικότητας από άλλες τεχνολογίες που ήταν διαθέσιμες εκείνη τη στιγμή. Η πορτοκαλί λάμψη των φωτιστικών HPS ταιριάζει καλύτερα για φωτισμό δρόμου και βιομηχανικές εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή απόδοση χρωμάτων.

Σύγχρονοι Τρόποι Φωτισμού σε Λιμάνια

Έχουν γίνει σημαντικές βελτιώσεις στις τεχνολογίες βιομηχανικού φωτισμού τα τελευταία χρόνια, για παράδειγμα η ανάπτυξη των λαμπτήρων LED. Ενώ μπορεί να υπήρχε η τάση να υποθεθεί ότι ο φωτισμός είναι περιφερειακός για αποτελεσματικές λειτουργίες, γίνεται όλο και περισσότερο αποδεκτό ότι ο φωτισμός έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ασφάλεια, την απόδοση, το περιβάλλον και το λειτουργικό κόστος των λιμανιών. Αν και η εγκατάσταση ενός σύγχρονου συστήματος φωτισμού μπορεί να είναι πιο ακριβή σε σύγκριση με τις συμβατικές επιλογές, η εξοικονόμηση ενέργειας των λαμπτήρων LED (όπως θα εξηγηθεί και στην συνέχεια) αλλά και η μειωμένη συντήρησή τους για παρατεταμένο χρονικό διάστημα οδηγούν στην εξοικονόμηση χρημάτων.

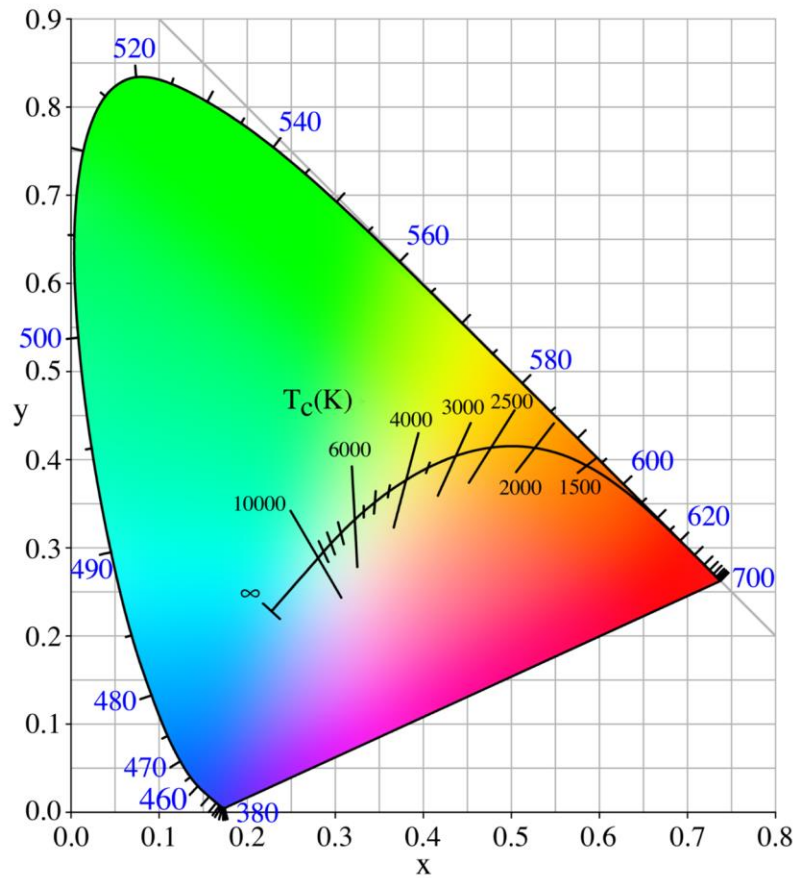
Τα φωτιστικά LED, καθώς και οι συγκρίσιμες νεότερες τεχνολογίες φωτισμού, έχουν συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους συμβατικούς λαμπτήρες, διάρκειας μεταξύ 50.000 και 100.000 ωρών. Αυτό μειώνει ουσιαστικά το μη προγραμματισμένο χρόνο διακοπής του εξοπλισμού λόγω αντικατάστασης λαμπτήρων. Οι λυχνίες LED είναι συσκευές στερεάς κατάστασης που δεν περιέχουν κινούμενα μέρη, νήματα και γυαλί, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο ζημιάς κατά τη μεταφορά, την εγκατάσταση και τη λειτουργία, ακόμη και σε απαιτητικά περιβάλλοντα όπως εφαρμογές χειρισμού εμπορευματοκιβωτίων και χύδην φορτίων. Επίσης οι κύκλοι ενεργοποίησης / απενεργοποίησης δεν έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην αναμενόμενη διάρκεια ζωής. Πέρα από τον λάθος φωτισμό πολύ σημαντικό είναι και η ποιότητα του φωτισμού.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Για να γίνει μια κρίση στην ποιότητα του φωτισμού έχουν τεθεί κάποια βασικά κριτήρια. Όταν γίνεται αναφορά στην ποιότητα του φωτισμού συνήθως εννοούνται τα CCT (correlated color temperature) και CRI (color rendering index). Συγκεκριμένα υπάρχουν:

CCT (correlated color temperature)

Η θερμοκρασία ενός λαμπτήρα είναι η θερμοκρασία που θα είχε η επιφάνεια από ένα ιδανικό μέλαν σώμα που θα ακτινοβολούσε φως με το ίδιο χρώμα που ακτινοβολεί ο λαμπτήρας. Ανάλογα με την θερμοκρασία του ιδανικού αυτού μέλανος σώματος μπορεί να δημιουργηθεί η παρακάτω κλίμακα όπου φαίνονται τα διαφορετικά χρώματα σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του.



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα Χρωματικού Εύρους – Θερμοκρασία

Όσο η θερμοκρασία σε Kelvin τείνει στο μηδέν, το φως αποκτά ένα κόκκινο χρώμα, ενώ αντίστοιχα όσο ο αριθμός των βαθμών Kelvin μεγαλώνει τότε το φως γίνεται όλο και πιο μπλε. Αν και το μπλε φως το υπάρχει σε μεγάλο αριθμό Kelvin είναι γνωστό ως «ψυχρό» ενώ το κόκκινο φως σε μικρούς αριθμούς Kelvin είναι γνωστό ως «θερμό». Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως έχουν για παράδειγμα πολύ θερμό φως αφού μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που τους προσφέρεται για να φωτίσουν γίνεται θερμότητα.

Πώς επηρεάζει η θερμοκρασία του φωτός τον εργαζόμενο

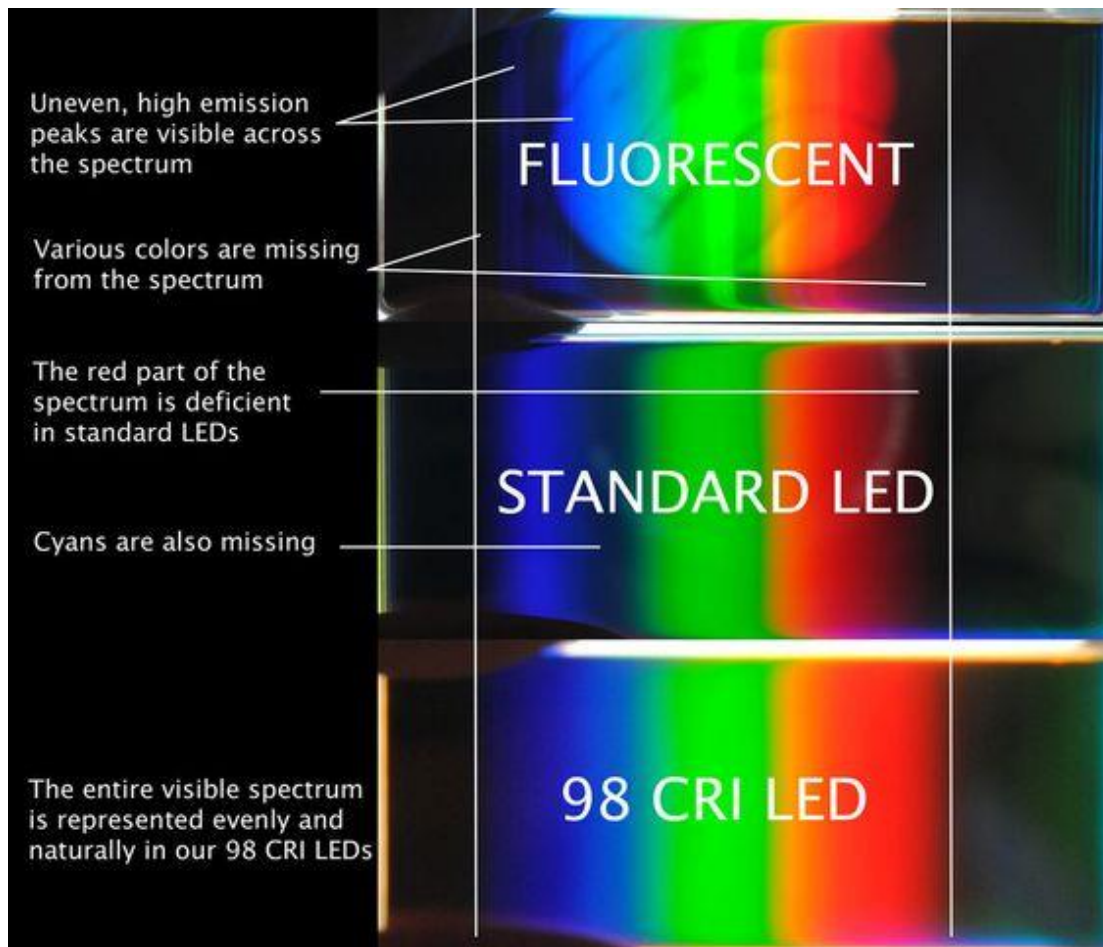
Σε γενικά πλαίσια η καλύτερη θερμοκρασία φωτός είναι αυτή που προσομοιάζει το φως του ήλιου η οποία βρίσκεται στο εύρος των 5600 Kelvin. Αυτό συμβαίνει αφού ο ανθρώπινος οργανισμός είναι «ρυθμισμένος» να λειτουργεί με το φως του ήλιου. Συγκεκριμένα το φως του ήλιου πάνω από την ατμόσφαιρα της γης είναι περίπου 5900K. Αυτό δεν αλλάζει και οποιαδήποτε αλλαγή που παρατηρείται κατά την διάρκεια της μέρας οφείλεται στο φαινόμενο της σκέδασης και όχι σε αλλαγή του φωτός που ακτινοβολεί φυσικά.

CRI (color rendering index)

Ο δείκτης αυτός εκφράζει την δυνατότητα του φωτός να απεικονίζει τα χρώματα διάφορων αντικειμένων με μεγάλη πιστότητα σε σύγκριση με ένα ιδανικό φυσικό φως (πχ τον ήλιο). Η μέτρηση για τον υπολογισμό του CRI είναι αρκετά απλή. Ουσιαστικά γίνεται η σύγκριση του φωτός που πρέπει να υπολογιστεί το CRI με ένα ιδανικό με την χρήση κάποιων βασικών χρωμάτων παστέλ. Η μέτρηση του κάθε χρώματος γίνεται και για τα δύο φώτα υπό την ίδια θερμοκρασία φωτός (CCT). Η γωνία που μετακινήθηκε η απόχρωση των χρωμάτων σε σύγκριση

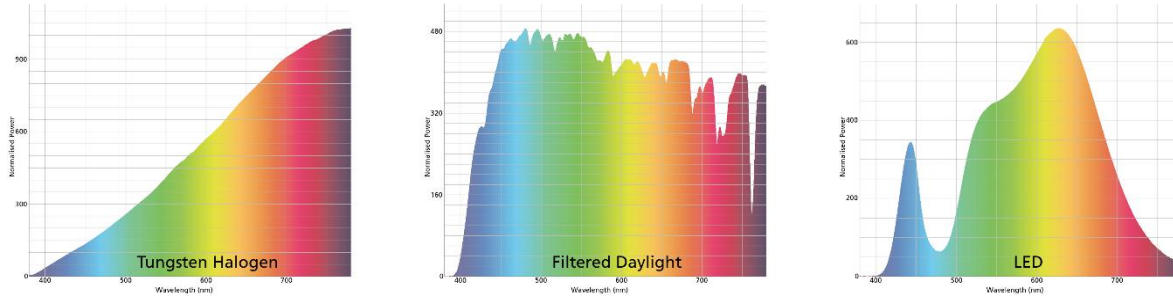
με το ιδανικό αφαιρείται από το 100 και έτσι υπάρχει το CRI το οποίο όπως και είναι κατανοητό εκφράζεται με έναν αριθμό χωρίς μονάδα μέτρησης με το 100 να είναι το τέλειο. Αν και το CRI είναι η επίσημη διαδικασία να ποσοτικοποίησης της πιστότητας της χρωματικής απεικόνισης μίας πηγής φωτός υπάρχουν και άλλες διαδικασίες. Μία από αυτές είναι ο υπολογισμός του CQS (Color Quality Scale).

Κάθε πηγή φωτός φαίνεται σαν ένα μόνο χρώμα ενώ στην πραγματικότητα το φως είναι ένα συνονθύλευμα διαφόρων χρωμάτων (μήκος κύματος) που το μάτι συνδυάζει μαζί. Όταν πραγματοποιηθεί η ανάλυση του φωτός στις επιμέρους συχνότητες (ή μήκη κύματος) διακρίνονται ξεκάθαρα τα μέρη από τα οποία αποτελείται. Τα συνηθισμένα όρια είναι 380 με 780 nm. Η απεικόνιση αυτή ονομάζεται SPD (Spectral Power Distribution). Το εύρος του φάσματος κάθε λαμπτήρα έχει ξεκάθαρο ρόλο για την απεικόνιση των σωστών χρωμάτων. Αυτό, γίνεται πιο κατανοητό με τη παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.1 Χρωματικό Φάσμα Λαμπτήρων

Η σύγκριση του φάσματος μεταξύ μίας λάμπας αλογόνου, φως από την ήλιο και μίας λάμπας LED.



Σχήμα 3.2 Φάσμα Διαφόρων Πηγών Φωτός

Το πως το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται το SPD είναι πολύ σημαντικό. Η αντίληψη του φωτός είναι ένας συνδυασμός του φάσματος του (SPD) και των συνθηκών του περιβάλλοντος που βρίσκεται ο παρατηρητής. Γενικά υπάρχουν 3 κατηγορίες.

Photopic

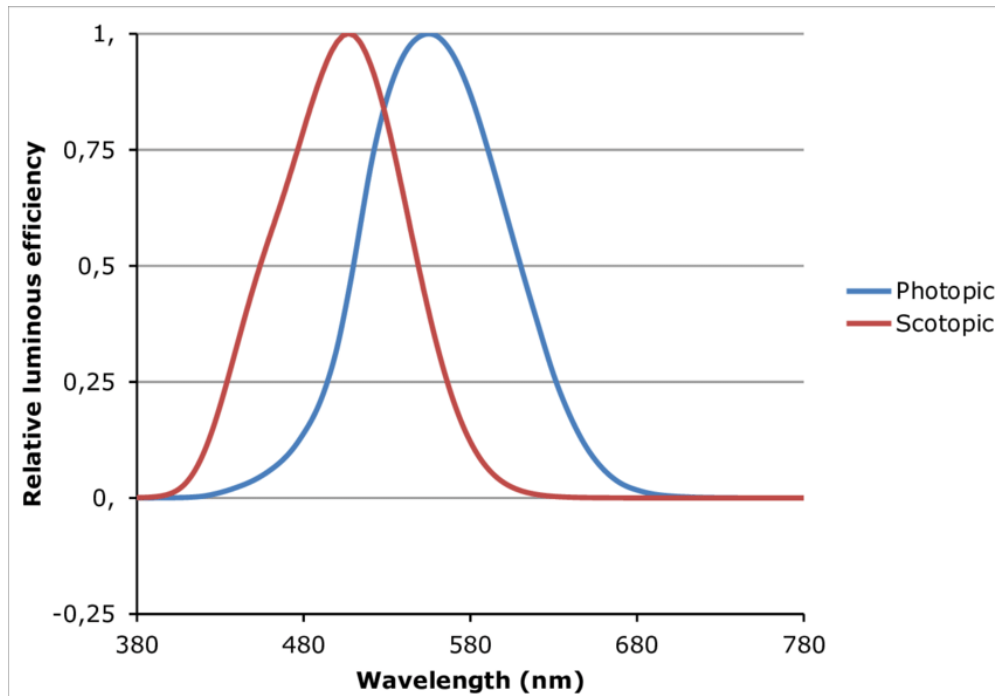
Καταστάσεις οι οποίες είναι και η πλειονότητα των περιπτώσεων όπου ο χώρος θεωρείται επαρκώς φωτισμένος.

Scotopic

Καταστάσεις όπου η φωτισμός είναι χαμηλός και δεν επαρκεί για την σωστή λειτουργία του χώρου

Mesopic

Όπου είναι μια ενδιάμεση κατάσταση των δυο παραπάνω και συνήθως αντιστοιχούν στους περισσότερους εξωτερικούς ανοιχτούς χώρους την νύχτα.



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα Φωτεινότητας – Μήκους κύματος

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: LED

Τα αρχικά LED σημαίνουν Light Emitting Diode, δηλαδή η λάμπα LED αποτελείται από ένα Diode που εκπέμπει φως σε διάφορα χρώματα. Τα φωτιστικά LED και οι συγκρίσιμες νεότερες τεχνολογίες φωτισμού έχουν συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους συμβατικούς λαμπτήρες, με διάρκεια από 50.000 έως 100.000 ώρες. Αυτό μειώνει σημαντικά τον μη προγραμματισμένο χρόνο διακοπής κάποιας λειτουργίας λόγω αντικατάστασης λαμπτήρων. Αυτά τα φωτιστικά είναι επίσης λιγότερο πιθανό να φθαρθούν σε τελικό στάδιο, αντίθετα, σιγά-σιγά θαμπώνουν, χάνοντας την ένταση. Τα φωτιστικά LED είναι «καταδικασμένα» να χαλάσουν όταν η απόδοση φωτός φτάσει το 70 τοις εκατό των αρχικών τους επιπέδων.

Οι νέες τεχνολογίες φωτισμού επιτρέπουν στους χειριστές να έχουν μεγαλύτερο έλεγχο στον τρόπο με τον οποίο οι πηγές φωτός επηρεάζουν το περιβάλλον όσον αφορά τη φωτορύπανση, τη διαρροή φωτός και τη αντανάκλαση. Τα LED και παρόμοιες τεχνολογίες είναι μικρότερες και πιο ελεγχόμενες πηγές φωτός από τις συμβατικές επιλογές. Κάθε LED, για παράδειγμα, μπορεί να ελεγχθεί για να κατευθύνει το φως όπου χρειάζεται και να μειώσει τη φωτορύπανση, τη διαρροή φωτός και την αντανάκλαση. Σε σύγκριση με κάποιο συμβατικό φωτισμό, τα LED μπορούν να μειώσουν τη φωτορύπανση έως και 50% και τη σπατάλη ενέργειας έως και 70%.

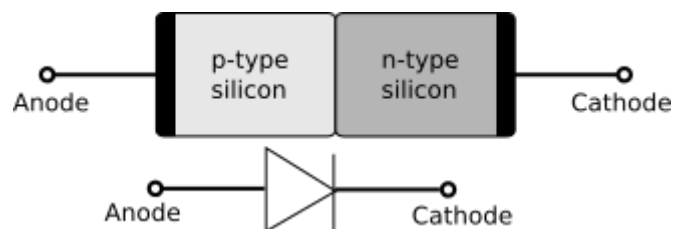
Η θερμοκρασία χρώματος επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο φαίνονται τα χρώματα και τη γενική διάθεση ενός περιβάλλοντος. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες χρώματος παράγουν συχνά ένα φως υψηλής απόδοσης, αλλά μπορεί να κάνουν μια τοποθεσία να μοιάζει κρύα και απρόσωπη. Ένα θερμότερο φως μπορεί να μειώσει την απόδοση των χρωμάτων, αλλά θα δημιουργήσει ένα πιο χαλαρό και άνετο περιβάλλον. Η σημασία του χρώματος και της διάθεσης στην εφαρμογή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή της θερμοκρασίας χρώματος για φωτιστικά LED. Οι λυχνίες LED μπορεί να ποικίλλουν σε χρώμα, ξεκινώντας από ένα πολύ μπλε, ψυχρό λευκό φως

σε ένα πιο κίτρινο, ζεστό λευκό φως. Η θερμοκρασία χρώματος μετριέται σε Kelvin σε κλίμακα από 1.500 έως 8.000. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός, τόσο πιο «ψυχρή» είναι η θερμοκρασία χρώματος. Τα φώτα LED συνήθως εμπίπτουν σε ένα εύρος από 4.000K έως 6.000K ενώ οι παραδοσιακές τεχνολογίες έχουν υψηλότερη θερμοκρασία. Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης έχουν θερμοκρασία χρώματος περίπου 2.200K και οι λαμπτήρες αλογονιδίου μετάλλου κυμαίνονται από 3.800K έως 4.000K. Στο 6^ο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί εκτενέστερη περιγραφή για τη θερμότητα στους λαμπτήρες LED.

Μια άλλη πολύ χρηστική επιλογή ελέγχου που προσφέρει η τεχνολογία LED είναι η μείωση της φωτεινότητας. Μπορεί να εγκατασταθεί ένα σύστημα που ελέγχει την απόδοση φωτός από το μηδέν έως το 100% για ορισμένες περιοχές που δεν απαιτούν πλήρη φωτισμό ανά πάσα στιγμή. Μπορούν να γίνουν προσαρμογές για την ώρα της ημέρας ή της νύχτας και για τον τύπο δραστηριότητας που λαμβάνει χώρα σε περιοχές που πρέπει να φωτιστούν. Μια διαδικασία πολύ ωφέλιμη από οικονομικής άποψης, αλλά και πολύ εξυπηρετική από την άποψη εργασίας.

P-N Junction

Η αρχή λειτουργίας της λάμπας LED βασίζεται σε δύο ημιαγωγούς και πιο συγκεκριμένα σε ένα P-N junction Diode το οποίο παράγει φως όταν υπάρχει η κατάλληλη τάση στα άκρα. Η ανακάλυψη αυτή έγινε από τον Russel Ohl το 1939.



Σχήμα 4.1 P-N Junction

Η βασική αρχή ενός P-N Junction είναι η εξής

Στην άνοδο (P-type) υπάρχει περίσσεια «τρυπών» ενώ στην κάθοδο (N Type) υπάρχει περίσσεια ελευθέρων ηλεκτρονίων. Έτσι προκύπτει ροή ρεύματος μόνο προς μία κατεύθυνση που σημαίνει πως η διάταξη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δίοδος (Diode). Καθώς τα ηλεκτρόνια συμπληρώνουν τις «τρύπες» υπάρχει παραγωγή ενέργειας με την μορφή φωτονίου στην περίπτωση των λαμπών τύπου LED. Γενικά στους λαμπτήρες LED χρησιμοποιείται aluminum-gallium-arsenide (AlGaAs) το οποίο στην κανονική του μορφή δεν επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων.

Doping

Για να δημιουργηθεί λοιπόν ένα P-N Junction εφαρμόζεται η τεχνική doping δηλαδή προστίθενται ατέλειες κατά την διάρκεια παραγωγής του ημιαγωγού ώστε να αλλάξει την μικροδομή του και να υπάρξει η επιθυμητή συμπεριφορά. Συγκεκριμένα στην περίπτωση του P-Type με την χρήση στοιχείων όπως το **B** «χάνονται» ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα την δημιουργία τρυπών, ενώ αντίστοιχα στην περίπτωση του N-Type εισάγονται περίσσεια ηλεκτρονίων πχ με την εισαγωγή **As** σε μία διάταξη **S**. Ανάλογα το υλικό που διατίθεται, στην λάμπα LED υπάρχει και διαφορετικό μήκος κύματος που παράγεται. Κόκκινο ή κίτρινο φως παράγεται με την χρήση Gallium-Arsenide-Phosphorus (GaAsP). Υπεριώδες έχουμε με την χρήση Gallium Arsenide (GaAs).

Ιδιότητες

Ένας ημιαγωγός p-doped είναι σχετικά αγωγίμος. Το ίδιο ισχύει και για έναν ημιαγωγό n-doped, ωστόσο η διασταύρωση μεταξύ τους μπορεί να εξαντληθεί των φορέων φόρτισης, και ως εκ τούτου μη είναι αγωγήμη, αυτό είναι ανάλογο με τις σχετικές τάσεις των δύο ημιαγωγών. Συνεπώς με την εκμετάλλευση αυτού του μη αγωγίμου στρώματος, οι συνδέσεις p-n μπορούν να

χρησιμοποιηθούν ως δίοδοι, δηλαδή στοιχεία κυκλώματος που επιτρέπουν μια ροή ηλεκτρικής ενέργειας προς τη μία κατεύθυνση αλλά όχι προς την άλλη (αντίθετη) κατεύθυνση. Η δίοδος σύνδεσης p-n επιτρέπει τη ροή των ηλεκτρικών φορτίων προς μία κατεύθυνση, αλλά όχι προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μπορούν εύκολα να ρέουν μέσω της διασταύρωσης από το N στο P αλλά όχι από το P στο N και το αντίστροφο ισχύει για τις οπές.

Μεροληψία

Μεροληψία είναι η εφαρμογή τάσης σε διασταύρωση p-n. Η μεροληψία προς τα εμπρός είναι προς την κατεύθυνση της ροής, και η αντίστροφη μεροληψία είναι προς την κατεύθυνση της μικρής ή καθόλου ροής ρεύματος.

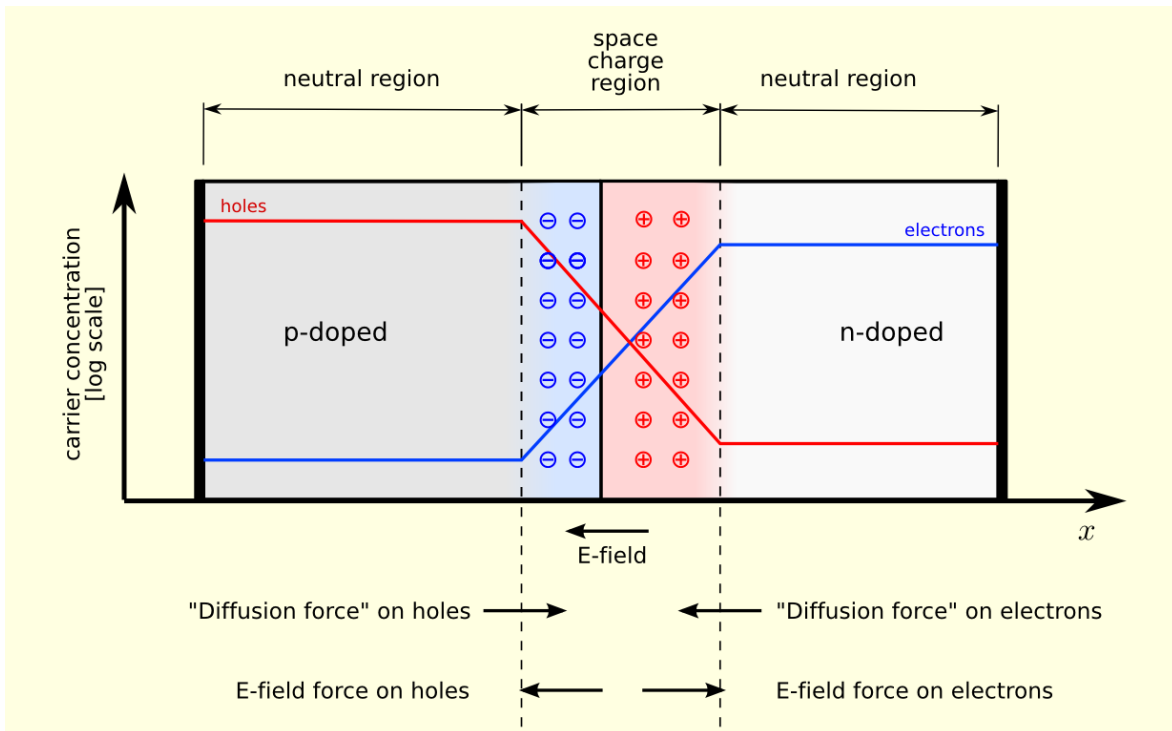
Υπάρχουν 3 περιπτώσεις:

1. Zero Bias

Αν δεν υπάρχουν εξωτερικά εφαρμοζόμενη τάση στην διασταύρωση P-N, επιτυγχάνεται μια κατάσταση ισορροπίας με την ύπαρξη δυναμικού κατά το μήκος της. Αυτή η πιθανή διαφορά ονομάζεται ενσωματωμένο δυναμικό.

Όπως είναι γνωστό στην διασταύρωση τα κενά P προσελκύουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια όπου και όταν έρθουν σε επαφή ακυρώνουν το ένα το άλλο. Αντίστοιχα τα ηλεκτρόνια προσελκύουν τα κενά P. Στον τύπο N τα θετικά φορτισμένα άτομα ντοπαρίσματος αποτελούν μέρος του κρυστάλλου και δεν μετακινούνται, συνεπώς μια περιοχή κοντά στην διασταύρωση στην πλευρά του N μένει θετικά φορτισμένη. Αντίστοιχα στη μεριά του P τα αρνητικά φορτισμένα άτομα πρόσμιξης είναι και αυτά μέρος του κρυστάλλου με αποτέλεσμα να μην μπορούν να κινηθούν. Έτσι μία περιοχή κοντά στην διασταύρωση από την μεριά του P φορτίζεται αρνητικά.

Το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται αντιτίθεται στη διαδικασία διάχυσης τόσο για ηλεκτρόνια όσο και για οπές. Υπάρχουν δύο ταυτόχρονα φαινόμενα: η διαδικασία διάχυσης που τείνει να παράγει περισσότερο φορτίο χώρου και το ηλεκτρικό πεδίο που παράγεται από το φορτίο χώρου που τείνει να αντισταθμίσει τη διάχυση. Το προφίλ συγκέντρωσης φορέα σε ισορροπία φαίνεται στο σχήμα Α με μπλε και κόκκινες γραμμές. Επίσης φαίνονται τα δύο φαινόμενα εξισορρόπησης που δημιουργούν ισορροπία.



Σχήμα 4.1 P-N Junction χωρίς εξωτερική τάση

2. Forward Bias-Ορθή πόλωση

Όταν συνδέουμε την περιοχή τύπου p μιας διασταύρωσης με το θετικό τερματικό μιας πηγής τάσης και την περιοχή τύπου-n με τον αρνητικό ακροδέκτη της πηγής τάσης, τότε η σύνδεση

λέγεται ότι είναι μεροληπτική προς τα εμπρός. Σε αυτήν την κατάσταση, λόγω της έλξης του θετικού τερματικού της πηγής, ηλεκτρόνια που συμμετείχαν σε δημιουργίες ομοιοπολικού δεσμού σε υλικό τύπου p , θα έλκονται προς το τερματικό.

Ως αποτέλεσμα, οι ομοιοπολικοί δεσμοί σπάνε και τα ηλεκτρόνια μετατοπίζονται προς το θετικό τερματικό και η συγκέντρωση ηλεκτρονίων στον κρύσταλλο πλησιέστερα στο τερματικό αυξάνεται και αυτά τα ηλεκτρόνια ανασυνδυάζονται με τρύπες εδώ. Με αυτόν τον τρόπο, ο αριθμός των οπών αυξάνεται στο τμήμα της περιοχής τύπου p μακριά από τη διασταύρωση και μειώνεται στο τμήμα της περιοχής τύπου p πλησιέστερα στο τερματικό. Συνεπώς οι οπές μετατοπίζονται από τον ακροδέκτη στη διασταύρωση.

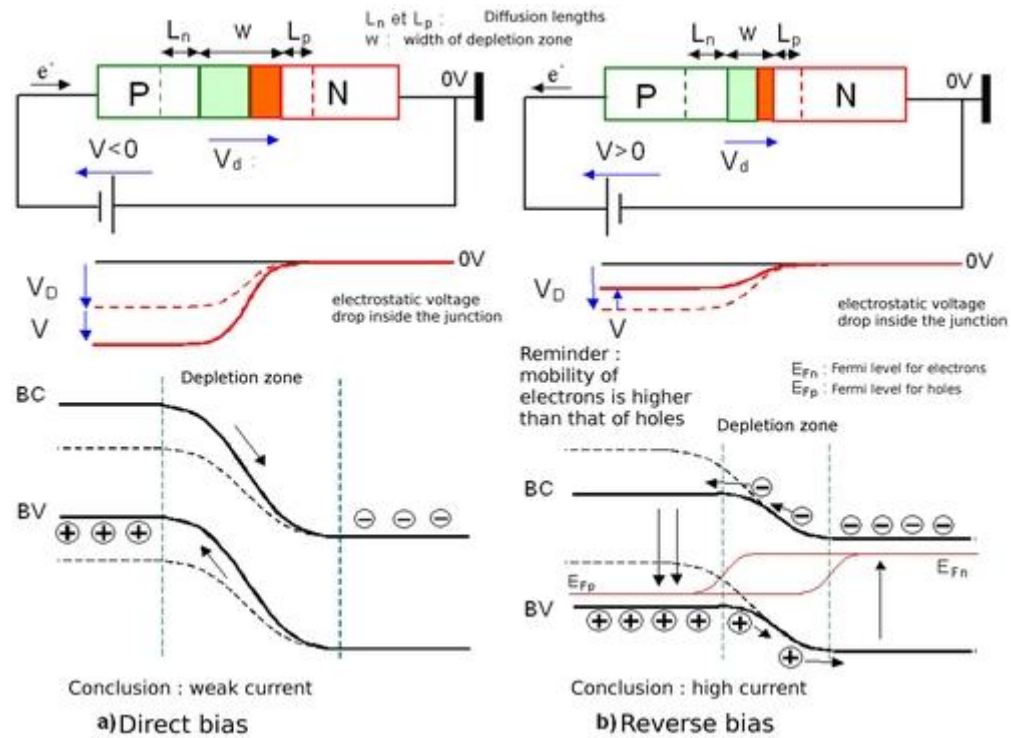
Λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης οπών που γειτνιάζουν με το στρώμα ιόντων αρνητικών ακαθαρσιών, τα ηλεκτρόνια των αρνητικών ιόντων βγαίνουν και ανα-συνδυάζονται με αυτές τις οπές και δημιουργούν νέες οπές στο στρώμα. Κατά συνέπεια, το πλάτος αυτού του στρώματος αρνητικών ιόντων μειώνεται και τελικά αυτό το στρώμα εξαφανίζεται. Παρομοίως, λόγω του αρνητικού τερματικού της πηγής, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στην περιοχή τύπου- n θα καταρτηθούν προς τη διασταύρωση όπου θα βρουν το στρώμα των θετικών ιόντων ακαθαρσίας και θα αρχίσουν να ανα-συνδυάζονται με αυτά τα ιόντα και να παράγουν ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα στο στρώμα. Κατά συνέπεια, το πλάτος των θετικών ιόντων ακαθαρσίας μειώνεται και τελικά εξαφανίζεται. Με αυτούς τους τρόπους, και τα δύο στρώματα ιόντων εξαφανίζονται και δεν θα υπάρχει πλέον στρώμα εξάντλησης. Μετά την εξαφάνιση του στρώματος εξάντλησης, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια από την περιοχή τύπου- n μπορούν εύκολα να μετακινηθούν στην περιοχή τύπου p και οι οπές από την περιοχή τύπου p στην περιοχή τύπου- n στον κρύσταλλο. Ως εκ τούτου, ιδανικά δεν θα υπάρχει εμπόδιο του ρεύματος ροής και η σύνδεση p - n συμπεριφέρεται ως βραχυκύκλωμα.

3. Reversed Bias-Ανάστροφη πόλωση

Όταν ο θετικός ακροδέκτης μιας πηγής τάσης συνδέεται στην περιοχή τύπου-n και ο αρνητικός ακροδέκτης της πηγής συνδέεται με την περιοχή τύπου-p, τότε η σύνδεση p-n λέγεται ότι βρίσκεται σε αντίστροφη προκατειλημμένη κατάσταση. Η πολικότητα αυτού του δυναμικού φράγματος είναι ίδια με την πολικότητα της πηγής τάσης που εφαρμόζεται κατά την αντίστροφη προκατειλημμένη κατάσταση. Τώρα αν αυξηθεί η αντίστροφη μεροληπτική τάση κατά μήκος της διασταύρωσης p-n, αυξάνεται επίσης το δυναμικό φραγμού που αναπτύσσεται κατά μήκος της διασταύρωσης p-n. Ως εκ τούτου, η σύνδεση p-n διευρύνεται.

Όταν το θετικό τερματικό της πηγής συνδέεται με την περιοχή τύπου-n, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αυτής της περιοχής έλκονται προς το θετικό τερματικό της πηγής λόγω του ότι δημιουργούνται περισσότερα θετικά ιόντα ακαθαρσίας στο στρώμα εξάντλησης που καθιστά το στρώμα θετικών ιόντων ακαθαρσίας παχύτερο. Ταυτόχρονα, δεδομένου ότι το αρνητικό τερματικό της πηγής συνδέεται με την περιοχή τύπου p της διασταύρωσης, τα ηλεκτρόνια εγγέονται σε αυτήν την περιοχή. Λόγω του θετικού δυναμικού της περιοχής τύπου-n, τα ηλεκτρόνια παρασύρονται προς τη διασταύρωση και συνδυάζονται με οπές δίπλα στο στρώμα των θετικών ιόντων ακαθαρσίας και δημιουργούν περισσότερα θετικά ιόντα ακαθαρσίας στο στρώμα. Ως εκ τούτου, το πάχος του στρώματος αυξάνεται. Με αυτόν τον τρόπο όλο το πλάτος του στρώματος εξάντλησης αυξάνεται μαζί με το δυναμικό φραγής. Αυτή η αύξηση του πλάτους του στρώματος εξάντλησης θα συνεχιστεί έως ότου το δυναμικό φραγής φτάσει στην εφαρμοζόμενη αντίστροφη προκατειλημμένη τάση. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι μετά την ολοκλήρωση της αντίστροφης μεροληπτικής στρώσης εξάντλησης δεν υπάρχει πλέον μετατόπιση φορέων φόρτισης (ηλεκτρόνια και οπές) μέσω της διασταύρωσης καθώς το πιθανό φράγμα αντιτίθεται στην εφαρμοζόμενη τάση που έχει την ίδια τιμή με το δυναμικό φράγμα. Αν και η ροή του μικροσκοπικού ρεύματος από την

περιοχή τύπου-n στην περιοχή τύπου p οφείλεται σε φορείς μειοψηφίας που είναι θερμικά παραγόμενα ηλεκτρόνια σε ημιαγωγό τύπου p και σπές στον ημιαγωγό τύπου-n.



Σχήμα 4.2 P-N Junction Forward(Direct) Bias και Reverse Bias

OLED

Μία κατηγορία λαμπτήρων LED είναι τα γνωστά, κυρίως από τις τηλεοράσεις, OLED ή αλλιώς Organic LED. Η διαφορά εδώ είναι ότι ο ημιαγωγός P-N είναι οργανικός που σημαίνει ότι περιέχει άνθρακα (Carbon). Η χρήση των οργανικών LED συναντάτε λάμπες εσωτερικού χώρου και σε οθόνες (κινητών τηλεφώνων , τηλεοράσεων κλπ.).

Κάποια πλεονεκτήματα που έχουν τα OLED σε σύγκριση με τα τυπικά LED είναι πως σε θέμα βάρους είναι αρκετά ελαφρύτερα και κατασκευαστικά μπορούν να γίνουν πολύ πιο λεπτά, γεγονός που τα καθιστά πολύ καλή επιλογή για την κατασκευή Panel τηλεοράσεων.

Από την άλλη μεριά όμως το κόστος τους είναι πολύ πιο ακριβό και η φωτεινότητά τους πολύ πιο χαμηλή σε σύγκριση με τα τυπικά LED. Επιπλέον λόγω της πιο πρόσφατης εφαρμογή τους δεν υπάρχουν πολλές μελέτες για την διάρκεια ζωής τους και ακόμη γίνεται έρευνα για την χρήση νέων υλικών.

Τροφοδοσία (LED Driver)

Η λάμπα LED χρειάζεται διαφορετικά επίπεδα ενέργειας για να λειτουργεί φυσιολογικά ανάλογα με την θερμοκρασία της. Χωρίς την σωστή τροφοδοσία μία λάμπα LED θα ζεσταθεί πολύ και θα γίνει ασταθής γεγονός που θα οδηγήσει στην αστοχία ή την κακή απόδοση.

Επιπλέον το τροφοδοτικό παρέχει χαμηλή τάση στην περίπτωση μεμονωμένης λάμπας της τάξης του 1,5 με 3 Volts και ένταση ρεύματος μέχρι και 30mA. Όταν συνδέονται όμως πολλές μαζί σε σειρά ή παράλληλα απαιτείται τάση 12 με 24 Volts DC. Η πτώση τάσης σε ένα λαμπτήρα LED είναι περίπου σταθερή σε ένα ευρύ φάσμα ρεύματος λειτουργίας. Επομένως, μια μικρή αύξηση στην εφαρμοζόμενη τάση αυξάνει σημαντικά το ρεύμα. Η τάση σε σχέση με τα τρέχοντα

χαρακτηριστικά ενός LED είναι παρόμοια με οποιαδήποτε δίοδο. Το ρεύμα είναι περίπου μια εκθετική συνάρτηση τάσης σύμφωνα με την εξίσωση Shockley.

Η εξίσωση διόδων Shockley ή ο νόμος διόδων, που πήρε το όνομά του από τον συν-εφευρέτη τρανζίστορ William Shockley των Bell Telephone Laboratories, δίνει το χαρακτηριστικό I-V (τρέχουσα τάση) μιας εξιδανικευμένης διόδου είτε προς τα εμπρός είτε προς την αντίστροφη μεροληψία (εφαρμοζόμενη τάση):

$$I = I_S \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

Όπου :

I το ρεύμα διόδου

I_S είναι το ρεύμα κορεσμού αντίστροφης μεροληψίας (ή ρεύμα κλίμακας)

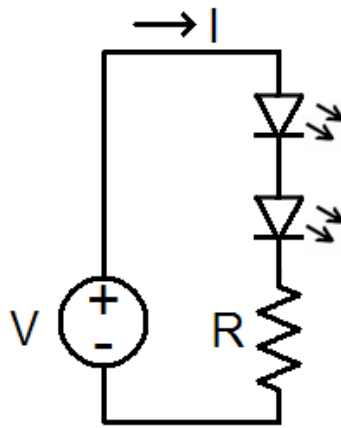
V_D είναι η τάση σε όλη τη δίοδο

V_T είναι η θερμική τάση kT / q (θερμοκρασία σταθερού χρόνου Boltzmann διαιρεμένη με φορτίο ηλεκτρονίων)

n είναι ο *ideality factor*, επίσης γνωστός ως συντελεστής ποιότητας ή μερικές φορές συντελεστής εκπομπών.

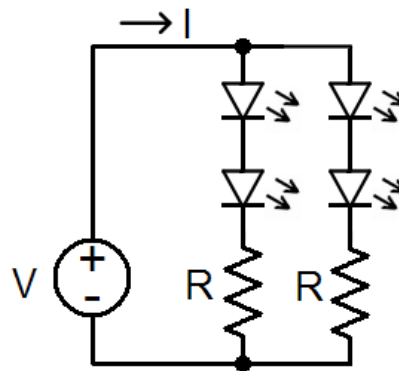
Συνεπώς μια μικρή αλλαγή τάσης μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη αλλαγή στο ρεύμα. Εάν η τάση είναι χαμηλότερη ή ίση με το κατώτερο όριο τότε δεν ρέει ρεύμα και το αποτέλεσμα είναι ένα ο λαμπτήρας LED να μην ανάβει. Εάν η τάση είναι πολύ υψηλή, το ρεύμα υπερβαίνει τη μέγιστη

επιτρεπόμενη τιμή για υπερθέρμανση και πιθανώς ο λαμπτήρας LED να καταστραφεί. Καθώς ένα LED θερμαίνεται, μειώνεται η πτώση τάσης του (μείωση διακένου ζώνης). Αυτό μπορεί να ενθαρρύνει την αύξηση του ρεύματος. Είναι επομένως σημαντικό η πηγή ισχύος να παρέχει ένα κατάλληλο ρεύμα. Οι λυχνίες LED πρέπει να συνδέονται μόνο με πηγές σταθερού ρεύματος. Οι σειρές πολλαπλών LED συνήθως συνδέονται σε σειρά. Σε μία διαμόρφωση, η τάση πηγής πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με το άθροισμα των μεμονωμένων τάσεων LED. Συνήθως οι τάσεις LED προσθέτουν περίπου τα δύο τρίτα της τάσης τροφοδοσίας. Μια μοναδική αντίσταση περιορισμού ρεύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε συμβολοσειρά.



Σχήμα 4.3 Σύνδεση LED σε σειρά

Η παράλληλη λειτουργία είναι επίσης δυνατή αλλά μπορεί να είναι πιο προβληματική. Οι παράλληλες λυχνίες LED πρέπει να έχουν πολύ ταιριαστή τάση προς τα εμπρός (V_f) για να έχουν παρόμοια ρεύματα διακλάδωσης και, συνεπώς, παρόμοια έξοδο φωτός. Οι παραλλαγές στη διαδικασία κατασκευής μπορεί να δυσκολεύουν την απόκτηση ικανοποιητικής λειτουργίας κατά τη σύνδεση ορισμένων τύπων LED παράλληλα.



Σχήμα 4.4 Σύνδεση LED παράλληλα

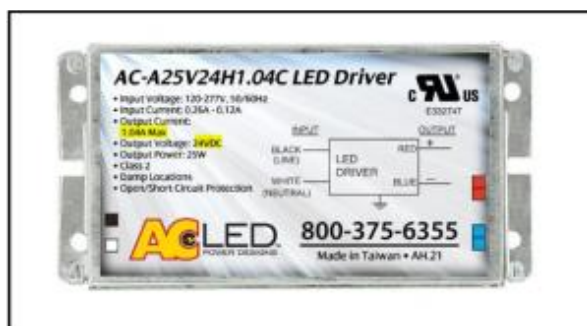
Τροφοδοσία Σταθερής Τάσης ή Σταθερής Έντασης Ρεύματος

Ανάλογα με την εφαρμογή της λάμπας LED μπορεί να έχουμε τροφοδοσία σταθερής τάσης ή σταθερής έντασης ρεύματος. Όπως λέει και το όνομα η τροφοδοσία σταθερής έντασης παρέχει στην λάμπα ρεύμα με σταθερή τιμή. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μία τιμή για την ένταση του ρεύματος και δύο όρια μέσα στα οποία κινείται η τάση ανάλογα με την παροχή.



Εικόνα 4.1 Τροφοδοσία σταθερής ένταση ρεύματος

Παρόμοια συμπεριφορά έχουμε στην περίπτωση σταθερής τάσης όπου χρειάζονται απλά μία σταθερή παροχή τάσης συνήθως 12V DC ή 24V DC. Πριν την εφαρμογή των λαμπτήρων LED σχεδόν παντού που γίνεται σήμερα κύρια εφαρμογή τους ήταν σε φωτεινές πινακίδες γεγονός που έκανε τους κατασκευαστές να επιλέξουν τροφοδοσία σταθερής τάσης, όμως καθώς η εφαρμογή γίνεται όλο και πιο ευρεία σιγά σιγά η αγορά αλλάζει προς τροφοδοσίες σταθερής έντασης ρεύματος.



Εικόνα 4.2 Τροφοδοσία σταθερής τάσης

Εσωτερική τροφοδοσία και εξωτερική τροφοδοσία.

Πέρα από την διαφορά ως προς την τάση και την ένταση του ρεύματος υπάρχει και η διαφορά ως προς την τοποθέτηση. Η εσωτερική τροφοδοσία εφαρμόζεται κυρίως σε οικιακό επίπεδο αφού η αντικατάσταση των λαμπτήρων είναι αρκετά εύκολη.

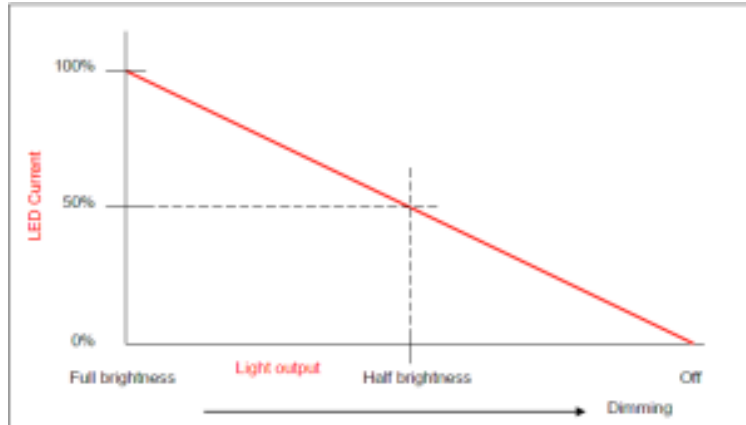
Η εξωτερική τροφοδοσία όπως λέει και το όνομά της είναι σε διαφορετικό μέρος από την λάμπα LED και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που έχουμε πολλές λάμπες μαζί, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό αποτυχιών στις λάμπες LED οφείλεται στην αστοχία του driver οπότε όταν έχεις έναν εξωτερικό η αντικαταστατή γίνεται ευκολότερα από το να πρέπει να αλλάξεις τις ίδιες της λάμπες.



Εικόνα 4.3 Τροφοδοσία εσωτερική και εξωτερική

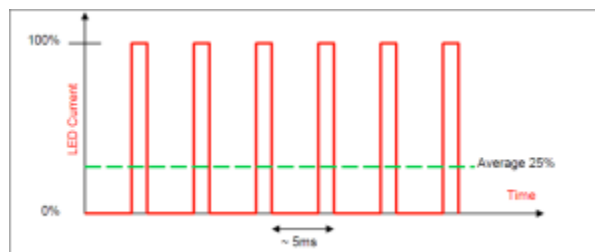
LED Dimming

Με την χρήση λαμπών LED έχουμε την δυνατότητα για μείωση της φωτεινότητας τους για αισθητικούς κυρίως λόγους (Dimming). Αυτό συνήθως γίνεται με δύο τρόπους : constant current reduction (CCR) και Pulse width modulation (PWM). Η σταθερή μείωση της έντασης του ρεύματος (CCR) αναφέρεται και ως αναλογικό Dimming και είναι η απλή μέθοδος ελέγχου της ποσότητας ρεύματος που τροφοδοτείται στην λάμπα LED. Παρακάτω φαίνεται στο διάγραμμα πώς μειώνοντας το ρεύμα στην λάμπα LED υπάρχει και μείωση της φωτεινότητας που παράγει:

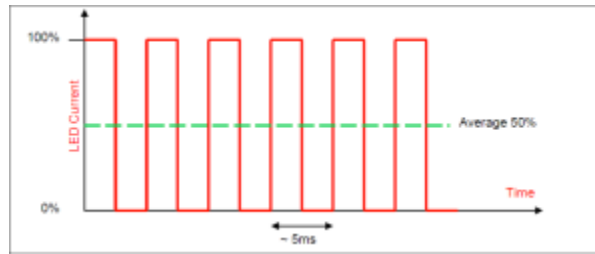


Σχήμα 4.5 Διάγραμμα Φωτεινότητας και Τάσης για CCR

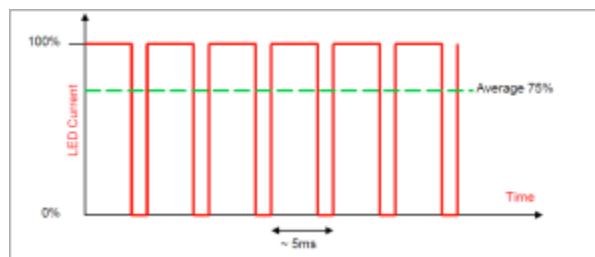
Η μέθοδος Pulse Width Modulation (Διαμόρφωση Εύρους Παλμών) λειτουργεί με πολύ γρήγορο άνοιγμα και κλείσιμο του λαμπτήρα LED. Η ρυθμός αυτός πρέπει να είναι μεγάλος ώστε να μην μπορεί το ανθρώπινο μάτι να δει της αλλαγές αυτές (Flickering) αλλά την μέση φωτεινότητα της λάμπας, ένας τυπικός ρυθμός είναι αυτός των 200Hz και άνω. Για παράδειγμα αν πρέπει να πετύχουμε ένα ποσοστό γύρω στο 50% της μέγιστης φωτεινότητας το χρονικό διάστημα που ο λαμπτήρας είναι στην θέση ON πρέπει να ισούται με το χρονικό διάστημα που βρίσκεται στο OFF, για 25% το ON θα ήταν για χρονικό διάστημα 25% του PWM κύκλου και OFF το υπόλοιπο 75%. Συνεπώς είναι εύκολα κατανοητό πως μπορούμε να πετύχουμε το ποσοστό φωτεινότητας που θέλουμε.



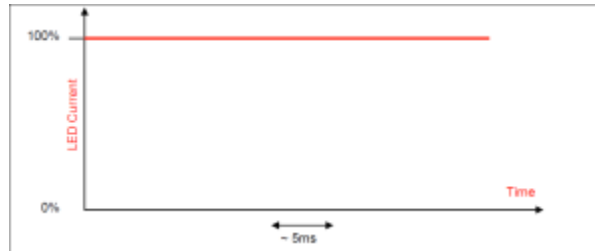
Σχήμα 4.5 PWM για 25% φωτεινότητα



Σχήμα 4.6 PWM για 50% φωτεινότητα



Σχήμα 4.7 PWM για 75% φωτεινότητα

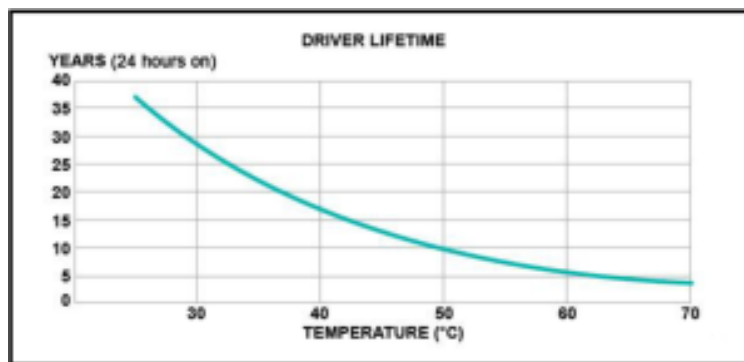


Σχήμα 4.8 PWM για 100% φωτεινότητα

Το ποια μέθοδο θα εφαρμόσουμε για να μειωθεί η φωτεινότητα των λαμπτήρων πρέπει πραγματοποιηθεί επικοινωνία με τον κατασκευαστή αφού και οι δύο μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε λάμπα LED.

Χρόνος ζωής τροφοδοσίας

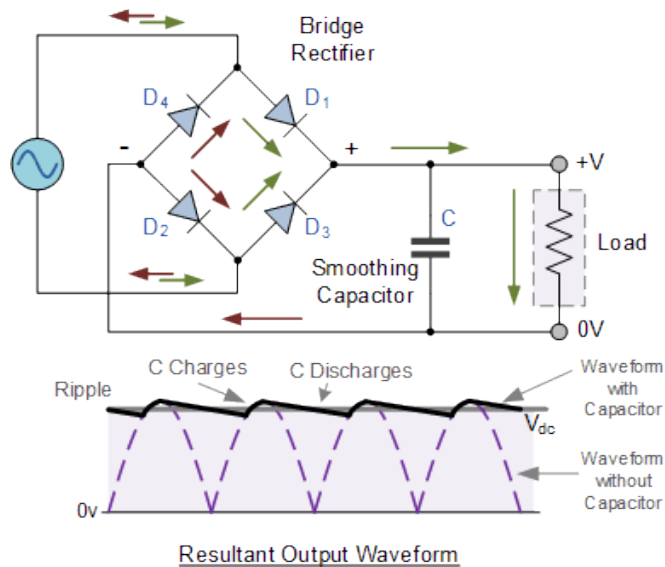
Όπως και κάθε ηλεκτρική συσκευή η τροφοδοσία των λαμπτήρων LED έχει συγκεκριμένο χρόνο ζωής και η εσωτερική θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την διάρκεια της λειτουργίας επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο αυτό. Παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα θερμοκρασίας – χρόνου ζωής:



Σχήμα 4.9 Διάγραμμα Θερμοκρασίας Λαμπτήρα – Χρόνου Ζωής

AC – DC converter (Ανορθωτής)

Όπως είναι κατανοητό από την φύση της διασταύρωσης P-N η λειτουργία ενός λαμπτήρα LED είναι δυνατή μόνο με την παροχή συνεχούς ρεύματος (DC) και όχι εναλλασσόμενου (AC) . Γι' αυτό τον λόγο χρειάζεται να υπάρχει ένας ανορθωτής ή αλλιώς AC to DC Converter ή Rectifier. Ο ανορθωτής είναι μια ηλεκτρική συσκευή που σκοπός της είναι να παραλάβει ρεύμα σε μορφή AC και να το κάνει συνεχές DC ώστε να υπάρχει ροή προς μία κατεύθυνση μόνο. Μια τυπική διάταξη για την μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές είναι η παρακάτω όπου γίνεται χρήση 4 διοδίων (Diodes) , συνήθως γίνεται και χρήση ενός ή παραπάνω πυκνωτών ώστε να διατηρηθεί το ρεύμα όσο το δυνατόν πιο σταθερό γίνεται:

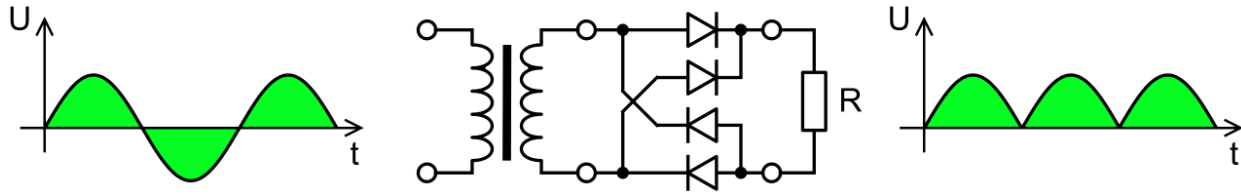


Σχήμα 4.10 Διάταξη τυπικού ανορθωτή ρεύματος (AC to DC)

Ανάλογα με τον τρόπο διάταξης του ανορθωτή έχουμε κάποιες περιπτώσεις:

1^η Διόρθωση πλήρους κύματος

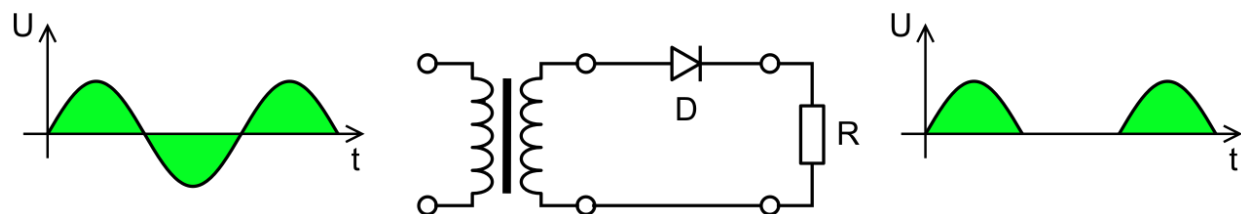
Ένας ανορθωτής πλήρους κύματος μετατρέπει το σύνολο της κυματομορφής εισόδου σε σταθερή πολικότητα (θετική ή αρνητική) στην έξοδο. Μαθηματικά, αυτό αντιστοιχεί στη συνάρτηση απόλυτης τιμής. Η διόρθωση πλήρους κύματος μετατρέπει και τις δύο πολικότητες της κυματομορφής εισόδου σε παλλόμενο DC (συνεχές ρεύμα) και αποδίδει υψηλότερη μέση τάση εξόδου. Απαιτούνται δύο δίοδοι και ένας μετασχηματιστής με κεντρικό άγγιγμα, ή τέσσερις δίοδοι σε διαμόρφωση γέφυρας και οποιαδήποτε πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος



Μη γραμμικά φορτία όπως ανορθωτές παράγουν τρέχουσες αρμονικές της συχνότητας πηγής στην πλευρά AC και αρμονικές τάσης της συχνότητας πηγής στην πλευρά DC, λόγω της συμπεριφοράς μεταγωγής.

2^η Διόρθωση μισού κύματος

Στην διόρθωση μισού κύματος μιας μονοφασικής τροφοδοσίας, είτε το θετικό είτε το αρνητικό μισό του κύματος AC περνά, ενώ το άλλο μισό είναι μπλοκαρισμένο. Επειδή μόνο το μισό της κυματομορφής εισόδου φτάνει στην έξοδο, η μέση τάση είναι χαμηλότερη. Η διόρθωση μισού κύματος απαιτεί μία μόνο δίοδο σε μονοφασική τροφοδοσία ή τρεις σε τριφασική τροφοδοσία. Οι ανορθωτές αποδίδουν ένα μονοκατευθυντικό αλλά παλμικό συνεχές ρεύμα. Οι ανορθωτές μισού κύματος παράγουν πολύ περισσότερους κυματισμούς από τους ανορθωτές πλήρους κύματος και απαιτείται πολύ περισσότερο φίλτράρισμα για την εξάλειψη των αρμονικών της συχνότητας AC από την έξοδο.

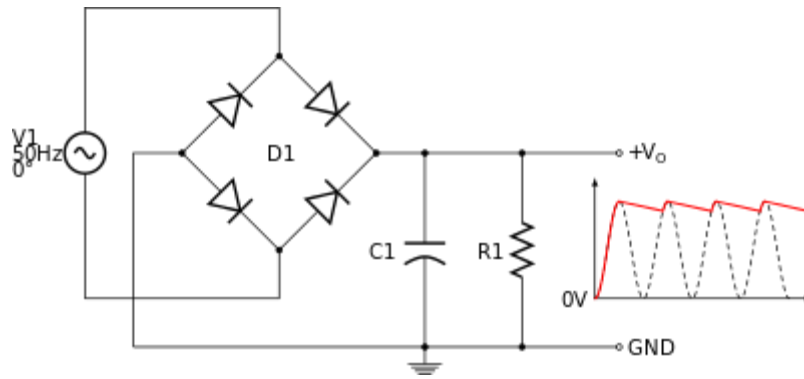


Όπως παρατηρείται με την χρήση του ανορθωτή υπάρχει η μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές αλλά δεν είναι πλήρως εξομαλυμένο, συνεπώς στις διατάξεις αυτές γίνονται κάποιες αλλαγές ώστε το ρεύμα να είναι όσο το πιο σταθερό γίνεται.

Εξομάλυνση εξόδου ανορθωτή

Ενώ η διόρθωση μισού κύματος και πλήρους κύματος παρέχει μονοκατευθυντικό ρεύμα, κανένα από τα δύο δεν παράγει σταθερή τάση. Υπάρχει μια μεγάλη συνιστώσα τάσης κυματισμού AC στη συχνότητα πηγής για ανορθωτή μισού κύματος και διπλάσια από τη συχνότητα πηγής για ανορθωτή πλήρους κύματος. Η τάση κυματισμού καθορίζεται συνήθως από κορυφή σε κορυφή. Η παραγωγή σταθερού DC από μια διορθωμένη τροφοδοσία AC απαιτεί κύκλωμα ή φίλτρο εξομάλυνσης.

Στην απλούστερη μορφή του αυτό μπορεί να είναι απλώς ένας πυκνωτής, τσοκ, αντίσταση, δίοδος Zener και αντίσταση, ή ρυθμιστής τάσης τοποθετημένος στην έξοδο του ανορθωτή. Στην πράξη, τα περισσότερα φίλτρα εξομάλυνσης χρησιμοποιούν πολλαπλά εξαρτήματα για να μειώσουν αποτελεσματικά την τάση κυματισμού σε επίπεδο ανεκτό από το κύκλωμα. Παρακάτω φαίνεται μία διάταξη όπου έχει προστεθεί ένας πυκνωτής και μία αντίσταση ώστε να μην υπάρχουν αυξομειώσεις στην τιμή της τάσης. Ουσιαστικά ο πυκνωτής φίλτρου απελευθερώνει την αποθηκευμένη ενέργειά του κατά τη διάρκεια του κύκλου AC όταν η πηγή AC δεν παρέχει καμία ισχύ, δηλαδή όταν η πηγή AC αλλάζει την κατεύθυνση της ροής του ρεύματος με αποτέλεσμα να διατηρείτε η τιμή της τάσης σχετικά σταθερή.



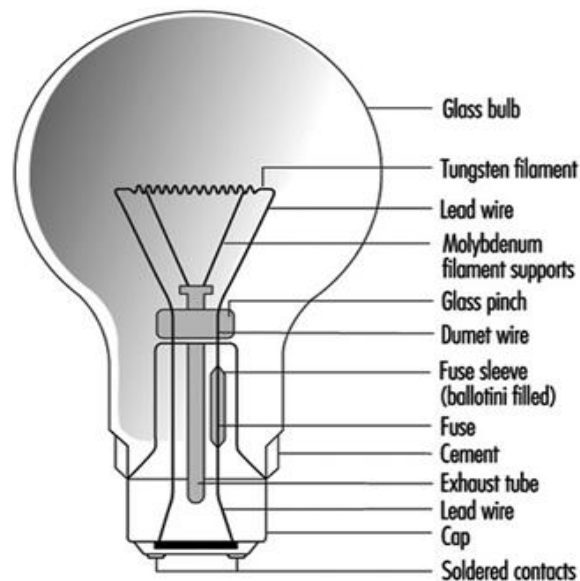
Σχήμα 4.11 Ανορθωτής διόδων γεφυρών πλήρους κύματος με παράλληλο φίλτρο διακλάδωσης RC

Σύγκριση LED – CFL – Πυρακτώσεως – Αλογόνου

Αρχικά θα γίνει μια περιγραφή της αρχής λειτουργίας της λάμπας πυρακτώσεως, αλογόνου και φθορίου πριν τη σύγκριση κάποιων βασικών ιδιοτήτων που έχουν:

Πυρακτώσεως:

Ο λαμπτήρας πυράκτωσης περιλαμβάνει ένα λεπτό μεταλλικό νήμα, από βαρύ, δύστηκτο μέταλλο, συνήθως βολφράμιο, τυλιγμένο σε σπείρες. Αυτό φέρεται από τις άκρες του συγκολλημένο σε δύο παχύτερα σύρματα από όπου εφαρμόζεται η ηλεκτρική τάση η οποία θέτει τα ηλεκτρικά φορτία σε κίνηση η οποία εξαναγκάζει το νήμα να φωτοβολεί από τη θέρμανσή του. Όταν το μήκος του νήματος είναι μεγαλύτερο των 2 cm τότε αυτό συγκρατείται και ενδιάμεσα από μη ηλεκτροφόρα σύρματα σε ακτινική διάταξη. Η κατασκευή αυτή περικλείεται σε γυάλινη σφαιρική ή ελλειπτική φύσιγγα χαμηλής πίεσης αερίου. Η φύσιγγα αυτή σε λαμπτήρες μικρής ισχύος είναι αερόκενη, ή σε λαμπτήρες μεγάλης ισχύος περιέχει αδρανές αέριο, συνήθως άζωτο. Ο λαμπτήρας μπορεί να διαθέτει βιδωτή επαφή που συνδέεται με τον έναν πόλο και μια επαφή στην βάση που συνδέεται με τον άλλο πόλο. Η όλη διάταξη περιέχεται σε στήριγμα από πορσελάνη.



Εικόνα 4.4 Λαμπτήρας Πυράκτωσης

Αλογόνου:

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στους συνήθεις αυτούς λαμπτήρες είναι της τάξεως των 2.800° K, με φωτεινή απόδοση περίπου 12 lm/W. Υπάρχουν όμως και λαμπτήρες πυράκτωσης με απόδοση 25 lm/W και θερμοκρασία νήματος στους 3.100° K. Αυτοί οι λαμπτήρες που ονομάζονται και "λαμπτήρες ιωδίου - χαλαζία" (ευρύτερα γνωστοί ως λαμπτήρες αλογόνου) περιέχουν αδρανές αέριο και ατμούς ιωδίου ή βρωμίου. Έχουν σχήμα σωλήνα μικρής διαμέτρου με αξονική διαμήκη διάταξη του νήματος βολφραμίου. Το γυαλί είναι χαλαζιακό και όταν λειτουργεί ο λαμπτήρας, η θερμοκρασία του φθάνει στους 600° C. Οι λαμπτήρες αλογόνου αναπτύχθηκαν για να λύσουν το πρόβλημα της μικρής διάρκειας ζωής των λαμπτήρων πυράκτωσης καθώς ένας τυπικός λαμπτήρας αλογόνου έχει διάρκεια ζωής περίπου 2000 ώρες, σχεδόν διπλάσια από έναν τυπικό λαμπτήρα πυράκτωσης.

CFL (Compact Fluorescent Lamps):

Η λάμπα αυτή χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να δημιουργήσει ατμό υδραργύρου, ο λαμπτήρας περιέχει δύο νήματα πυράκτωσης, άζωτο, αργό αλλά και υδράργυρο συνεπώς απαιτείται πού προσοχή στην περίπτωση που σπάσει. Επιπλέον στο εσωτερικό του ο σωλήνας είναι επιχρισμένος με φθορίζουσα ουσία που συνήθως είναι φώσφορος

Φωτεινότητα:

Ανάλογα τον τύπο του λαμπτήρα έχουμε και διαφορετικό αποτέλεσμα ως προς την φωτεινότητα. Η φωτεινότητα μιας λάμπας μετριέται σε Lumens, όσο πιο ψηλός ο αριθμός των Lumens που έχει μια λάμπα τόσο πιο φωτεινή είναι. Ωστόσο μόνο ο αριθμός της φωτεινότητας δεν έχει και τεράστια

σημασία αφού είναι εξίσου σημαντικό η ενέργεια που καταναλώνει ο λαμπτήρας για να φτάσει μία συγκεκριμένη φωτεινότητα συνεπώς είναι πιο αποτελεσματικό να γίνει σύγκριση στα Lumens προς την ισχύ (Watt) για κάθε τύπο λαμπτήρα από τους παραπάνω. Οι παραδοσιακές λάμπες πυρακτώσεως εκπέμπουν γύρω στα 15 lumens για κάθε Watt. Συνεπώς για να φτάσουν μία φωτεινότητα της τάξης των 800 Lumens η λάμπα πυρακτώσεως θα χρειαστεί 60 Watt ισχύος για να παράξει αυτό το φως. Οι λάμπες αλογόνου είναι λίγο πιο αποδοτικές με φωτεινότητα 25 Lumens για κάθε Watt. Οι CFL ή αλλιώς φθορίου (Fluorescent) είναι ακόμη καλύτερες με φωτεινότητα της τάξης των 60 Lumens για κάθε Watt. Στην περίπτωση των λαμπτήρων LED τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα από όλες τις προηγούμενες επιλογές με φωτεινότητα περίπου στα 72 Lumens για κάθε Watt. Συνεπώς αυτό τα καθιστά την πιο αποδοτική και συμφέρουσα επιλογή σε σύγκριση με τα προηγούμενα. Μια απλή σύγκριση αρκεί , για 10 Watt μία λάμπα LED θα είναι αρκετά φωτεινή για να αντικαταστήσει μία 60 – Watt λάμπα πυρακτώσεως.

Ισχύς:

Οι λαμπτήρες έχουν διαφορετικές ανάγκες για ισχύ (Power) . Οι πιο παραδοσιακές λάμπες έχουν ανάγκες της τάξης των 40 με 100 Watt σε σύγκριση με την λάμπα LED που εξοικονομεί έως και 20% ενέργεια σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.

Θερμότητα:

Στην περίπτωση του λαμπτήρα πυρακτώσεως έχουμε έως και 90% απώλεια ενέργειας μέσω παραγωγής θερμότητας. Σε σύγκριση με αυτό οι λαμπτήρες LED όχι μόνο παράγουν και λιγότερη ενέργεια αλλά και απαιτούν μικρότερη ισχύ για να έχουν τα ίδια αποτελέσματα στην φωτεινότητα.





Αν και γενικά κάθε ηλεκτρική συσκευή παράγει θερμότητα όταν λειτουργούν οι λαμπτήρες LED έχουν πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις πυρακτώσεως, αλογόνου και φθορίου.

Για να πετύχουν τόσο χαμηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις άλλες λάμπες οι κατασκευαστές

τοποθετούν ειδικά πτερύγια που λειτουργούν σαν εναλλακτές θερμότητας και ψύχουν την λάμπα, η απουσία αυτού του μηχανισμού από της λάμπες πυρακτώσεως τις καθιστά πολύ πιο ζεστές ακόμη και για να της ακουμπήσει ανθρώπινο χέρι μετά από κάποιες ώρες λειτουργείας, αντίθετα όμως μια λάμπα LED ακόμη και μετά από αρκετές ώρες μπορεί να παραμείνει σε χαμηλές θερμοκρασίες. Περισσότερα για την θερμική συμπεριφορά των λαμπτήρων LED και τρόπους ψύξης οι οποίοι θα παρουσιαστούν στο παρακάτω κεφάλαιο.

Διάρκεια ζωής:

Ανάλογα την τεχνολογία του λαμπτήρα αλλάζει και η διάρκεια ζωής του. Οι λαμπτήρες LED χάρη στην εξαιρετική ενεργειακή τους αποδοτικότητα έχουν την ικανότητα να αντέχουν έως και 25 χιλιάδες ώρες ή αλλιώς 34 χρόνια. Παραδοσιακές λάμπες όπως οι πυρακτώσεως έχουν χρόνο ζωής γύρω στις 1000 ώρες ή αλλιώς 1,4 χρόνια. Κάπου στην μέση πέφτουν οι αλογόνου και φθορίου με διάρκεια ζωής έως και τα 4 χρόνια για της αλογόνου και έως και τα 14 του φθορίου. Συνεπώς είναι εύλογο το συμπέρασμα πως οι λαμπτήρες LED είναι η καλύτερη επιλογή αν το ζητούμενο είναι η μεγάλη χρονική διάρκεια ζωής. Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας με κάποιες ενδεικτικές τιμές αφού ακόμη και για κάθε είδος υπάρχουν διαφορετικές περιπτώσεις λαμπών:

EFFICIENCY	Least		Most	
BULB TYPE				
LUMENS	STANDARD	HALOGEN	CFL	LED
450	40 W	29 W	9 W	8 W
800	60 W	43 W	14 W	13 W
1100	75 W	53 W	19 W	17 W
1600	100 W	72 W	23 W	20 W
RATED LIFE	1 year	1-3 years	6-10 years	15-25 years
SAVINGS	×	up to 30%	up to 75%	up to 80%

Εικόνα 4.5 Σύγκριση Λαμπτήρων

Είναι ξεκάθαρο πως σε θέμα αποδοτικότητας η λάμπα LED είναι πολύ καλύτερη επιλογή από τις υπόλοιπες τρεις. Παρά την εκπληκτική αποδοτικότητά ως προς την φωτεινότητα και την θερμοκρασία σε σύγκριση με τις υπόλοιπες λάμπες, οι λαμπτήρες LED έχουν διαφορετική ιστορία όταν γίνεται αναφορά στην διαχείριση της ισχύος που τους παρέχεται και τον δείκτη ισχύος. Πριν αρχίσει να γίνεται μαζική αντικατάσταση λαμπτήρων πυρακτώσεως και αλογόνου με LED πρέπει να μελετηθεί εκτενώς η συμπεριφορά των λαμπτήρων LED ως προς τον δείκτη ισχύος (Power Factor) και τις αρμονικές παραμορφώσεις που προκαλούν.

Συντελεστής Ισχύος (Power Factor)

Η αναλογία ενεργού ισχύος προς φαινόμενη ισχύ σε ένα κύκλωμα ονομάζεται συντελεστής ισχύος. Για δύο συστήματα που μεταδίδουν την ίδια ποσότητα ενεργού ισχύος, το σύστημα με τον χαμηλότερο συντελεστή ισχύος θα έχει υψηλότερα ρεύματα κυκλοφορίας λόγω της ενέργειας που επιστρέφει στην πηγή από την αποθήκευση ενέργειας στο φορτίο. Αυτά τα υψηλότερα ρεύματα παράγουν υψηλότερες απώλειες και μειώνουν τη συνολική απόδοση μετάδοσης. Ένα κύκλωμα χαμηλότερου συντελεστή ισχύος θα έχει μεγαλύτερη φαινόμενη ισχύ και υψηλότερες απώλειες για την ίδια ποσότητα ενεργού ισχύος. Ο συντελεστής ισχύος είναι 1,0 όταν η τάση και το ρεύμα είναι σε φάση. Είναι μηδέν όταν το ρεύμα οδηγεί ή καθυστερεί την τάση κατά 90 μοίρες. Όταν η τάση και το ρεύμα είναι 180 μοίρες εκτός φάσης, ο συντελεστής ισχύος είναι αρνητικός και το φορτίο τροφοδοτεί ενέργεια στην πηγή (ένα παράδειγμα θα ήταν ένα σπίτι με ηλιακά κύτταρα στην οροφή που τροφοδοτούν ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο όταν ήλιος λάμπει).

Οι συντελεστές ισχύος δηλώνονται συνήθως ως «προπορευόμενοι» ή «καθυστερών» για να δείξουν το σημάδι της γωνίας φάσης του ρεύματος σε σχέση με την τάση. Η τάση ορίζεται ως η βάση με την οποία συγκρίνεται η τρέχουσα γωνία, πράγμα που σημαίνει ότι το ρεύμα θεωρείται είτε «οδηγούσα» είτε «υστερούσα» τάση. Όταν οι κυματομορφές είναι καθαρά ημιτονοειδείς, ο συντελεστής ισχύος είναι το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ των ημιτονοειδών κυματομορφών ρεύματος και τάσης. Τα φύλλα δεδομένων εξοπλισμού και οι πινακίδες τύπου συντομογραφούν συντελεστή ισχύος ως $\cos\phi$ για αυτόν τον λόγο.

Επομένως, ένας χαμηλός συντελεστής ισχύος δείχνει ένα αναποτελεσματικό προϊόν καθώς τραβά περισσότερο ρεύμα στο κύκλωμα από ό, τι χρησιμοποιείται από το φορτίο. Επιπλέον η χρήση προϊόντων με χαμηλούς συντελεστές ισχύος επηρεάζει αρνητικά το περιβάλλον αυξάνοντας τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και συνεπώς τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Τα προϊόντα

φωτισμού LED προορίζονται ως πράσινη τεχνολογία, αλλά αυτό δεν συμβαίνει εάν δεν διαθέτουν συντελεστή υψηλής ισχύος που συμμορφώνεται με τα πρότυπα. Το πρόγραμμα Energy Star του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ ορίζει ότι ο συντελεστής ισχύος πρέπει να είναι καλύτερος από 0,7 για οικιακές εφαρμογές για λαμπτήρες LED.

Συμπεριφορά λαμπτήρων LED και CFL στην περίπτωση πτώσης τάσης

Ο αντίκτυπος στην τάση δικτύου και το ρεύμα των CLF και LED έχει προσελκύσει πρόσφατα την προσοχή στην επιστημονική βιβλιογραφία. Παρακάτω αναφέρονται τα αποτελέσματα από μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε με την συνεισφορά του Laboratoire Plasma et Conversion d'énergie (LAPLACE), PT. PLN (Persero) και Institut Teknologi Bandung.

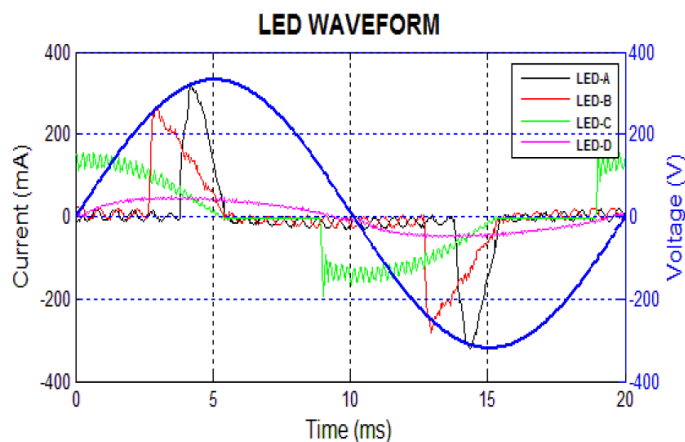
Η αφορμή για να γίνει αυτή η έρευνα ήταν το φαινόμενο «brownout» που είχε παρατηρηθεί στην Ινδονησία. Η ονομαστική τάση στο δευτερεύον δίκτυο διανομής της Ινδονησίας είναι 220/380 βολτ με ανοχή -10% έως 5%. Αυτό σημαίνει ότι η PLN πρέπει να παρέχει τάση μεταξύ 198 και 231 βολτ στους πελάτες. Ωστόσο, λόγω της περιορισμένης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και της μεγάλης ζήτησης προς εξυπηρέτηση πρέπει να γίνουν μειώσεις τάσης για να αποφευχθούν διακοπές στον πελάτη. Έτσι η διαθέσιμη τάση τροφοδοσίας πέφτει κάτω από αυτό που απαιτείται από τις ανάγκες του πελάτη. Τα αποτελέσματα αυτής της πτώσης τάσης ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο της λάμπας.

16 ESL χρησιμοποιούνται σε αυτό το πείραμα, από αυτές οι είναι 5 CFL και 11 LED. Αυτές οι δοκιμαστικές λυχνίες καλύπτουν διάφορες μάρκες και διαφορετικές βαθμολογίες ισχύος, όπως συνοψίζεται. Η τροφοδοσία παράγεται από ένα Kikusui PCR 500M που λειτουργεί ως ιδανική πηγή ισχύος με επίπεδα παραμόρφωσης χαμηλής τάσης (~ 0,07%). Ένας μετρητής ισχύος Yokogawa WT210 χρησιμοποιείται για την καταγραφή όλων των ηλεκτρικών παραμέτρων των λαμπτήρων: τάση (V), ρεύμα (I), συντελεστής ισχύος (pf), ενεργή ισχύς (P), πραγματική ισχύς (S)

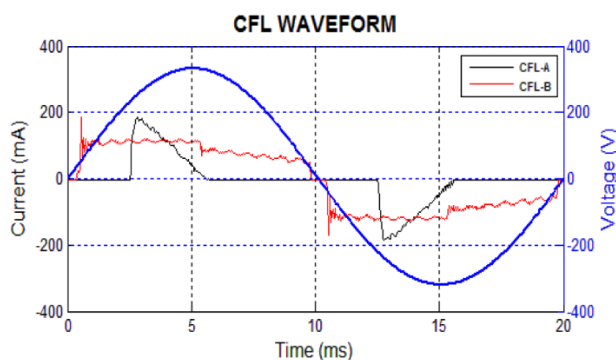
και ολική παραμόρφωση αρμονικού ρεύματος THDi. Οι μετρήσεις ελέγχονται και διαβάζονται από το λογισμικό WtViewer που συνοδεύει το WT210.

NO	LAMP CODE	P (W)	CURRENT					POWER FACTOR			WAVE TYPE
			THDi (%)	TOT (mA)	FUND (mA)	3rd %	5th %	TOT	DISP	DIST	
1	LED-12-LED	11.346	109.90	86.04	57.45	78.29	54.31	0.57	0.67	0.85	LED-B
2	LED-10-ML	10.047	161.00	87.75	46.08	90.86	81.53	0.50	0.53	0.94	LED-A
3	LED-10-PAN	10.05	118.50	73.97	47.70	84.34	59.29	0.59	0.64	0.92	LED-B
4	LED-8-KAN	7.462	41.17	86.40	79.06	32.53	16.44	0.38	0.92	0.41	LED-C
5	LED-8-LEX	7.22	143.1	58.67	33.45	89.84	72.56	0.54	0.57	0.93	LED-B
6	LED-7.5	7.471	10.21	33.55	33.32	8.55	2.55	0.97	0.99	0.97	LED-D
7	LED-7-LUXA	6.99	22.66	137.29	133.48	15.70	11.08	0.22	0.98	0.23	LED-C
8	LED-7-LUXI	5.988	198.1	58.84	26.41	96.29	90.04	0.44	0.45	0.98	LED-A
9	LED-7-SIL	6.845	37.14	77.73	72.85	29.64	16.21	0.38	0.94	0.41	LED-C
10	LED-5-SYG	4.329	183.4	40.248	19.26	94.96	86.76	0.47	0.48	0.98	LED-A
11	LED-5-SIL	4.5458	160.5	37.915	20.04	93.52	82.52	0.52	0.53	0.99	LED-A
12	CFL-24	19.606	123.8	147.96	92.78	85.86	62.63	0.58	0.63	0.92	CFL-A
13	CFL-20	20.773	29.04	96.23	89.42	24.49	14.49	0.94	0.96	0.98	CFL-B
14	CFL-18	17.184	108.9	124.06	83.87	79.78	49.64	0.60	0.68	0.89	CFL-A
15	CFL-15	14.677	109.5	108.59	72.08	79.02	48.07	0.59	0.67	0.87	CFL-A
16	CFL-9	8.9468	109.5	64.141	43.19	81.36	52.93	0.61	0.67	0.90	CFL-A

Με βάση τις παρατηρήσεις, οι τρέχουσες κυματομορφές LED και CFL μπορούν να ομαδοποιηθούν ανάλογα με τις ομοιότητές τους. Η κυματομορφή προκύπτει από την τοπολογία του προγράμματος οδήγησης που τοποθετείται μεταξύ του δικτύου και της πηγής φωτός με σκοπό τη μετατροπή της τάσης εισόδου (συνήθως 230 V AC) σε κατάλληλη κυματομορφή, είτε ρυθμιζόμενο ρεύμα DC για LED ή τάση τετραγωνικού κύματος υψηλής συχνότητας για CFLs . Οι ομάδες LED όπως φαίνεται είναι οι εξής:



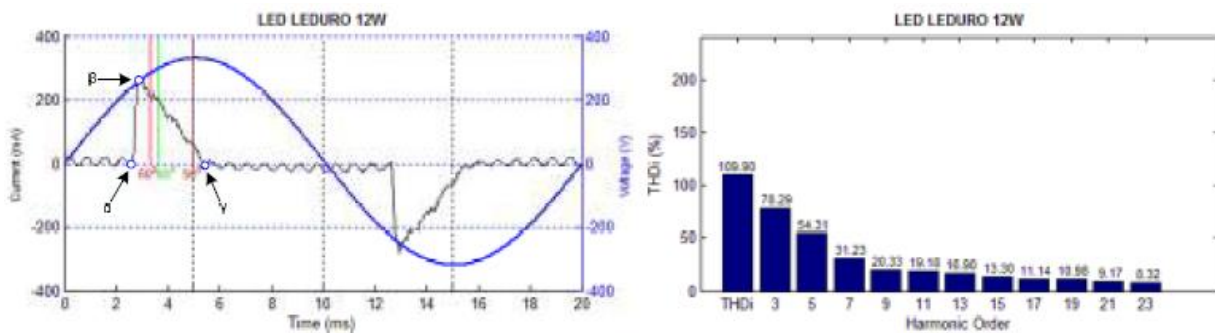
Δύο τύποι CFLs προσδιορίζονται με βάση την κυματομορφή όπως δείχνουν:



Οι κυματομορφές ρεύματος που μοιάζουν με παλμούς όπως παρουσιάζονται από τα LED-A, LED-B και CFL-A μεταφέρονται από τον παράλληλο πυκνωτή που εγκαθίσταται μετά τον ανορθωτή της γέφυρας που προκαλεί αύξηση ρεύματος καθώς οι δίοδοι εισέρχονται σε κατάσταση αγωγής. Το LED-C εμφανίζει κυματομορφή με ρεύμα εισόδου μολύβδου φάσης. Αυτός ο τύπος χρησιμοποιεί έναν πυκνωτή σειράς για να περιορίσει το ρεύμα που παρέχεται στη λάμπα. Ως αποτέλεσμα, έχει μια μεγάλη μετατόπιση φάσης μεταξύ ρεύματος και τάσης. Η καμπύλη τελευταίου τύπου όπως φαίνεται στα LED-D και CFL-B είναι κυματομορφή ημιτονοειδούς ρεύματος. Είναι επειδή υιοθετούν πιο εξελιγμένη τεχνική (διόρθωση συντελεστή ισχύος) που επιτρέπει μια σχεδόν ημιτονοειδής κυματομορφή ρεύματος. Το IEC 61000-3-2 καθόρισε ότι τα

όρια της 3ης αρμονικής και της 5ης αρμονικής για εξοπλισμό φωτισμού με ισχύ εισόδου <25W θα πρέπει να είναι χαμηλότερα από 86% και 61% αντίστοιχα. Ο Πίνακας 2 δείχνει ότι τα LED-C, LED-D και CFL-B έχουν αρμονικές τιμές σχετικά χαμηλές σε σύγκριση με το πρότυπο IEC που κυμαινόταν μεταξύ 10,21% και 41,17%, επομένως χωρίς περαιτέρω ανάλυση, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι αυτοί οι λαμπτήρες πληρούν το πρότυπο IEC.

Για να αναλυθεί εάν οι λαμπτήρες πληρούν το IEC 61000-3-2 ή όχι, θα πρέπει να παρατηρηθεί εάν οι μεταβλητές «γωνία έναρξης», «γωνία διακοπής» και «γωνία αιχμής» των καμπυλών είναι σύμφωνα με τα όρια που καθορίζονται από IEC. Αυτές οι μεταβλητές απεικονίζονται σε ένα δείγμα του LED, δηλαδή LED-12-LED όπως φαίνεται:



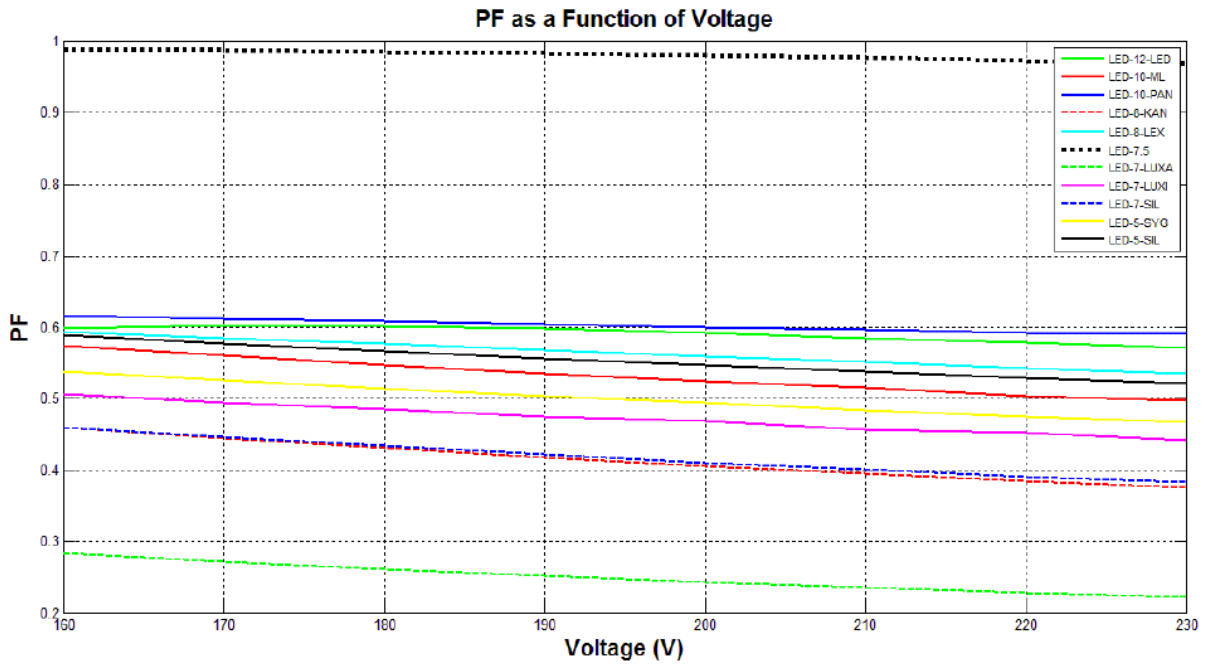
Από τον πίνακα 3 "τα κόκκινα κείμενα" είναι οι λαμπτήρες που έχουν κριτήρια γωνίας πέρα από τα όρια που επιτρέπονται από την IEC:

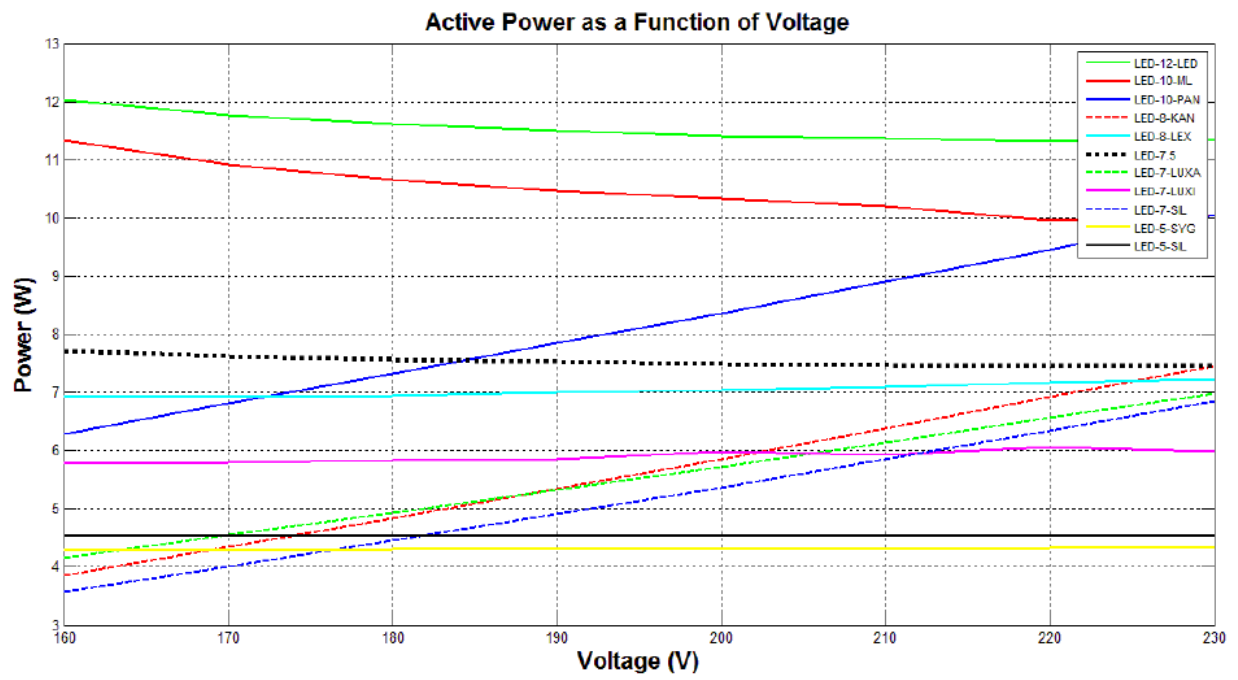
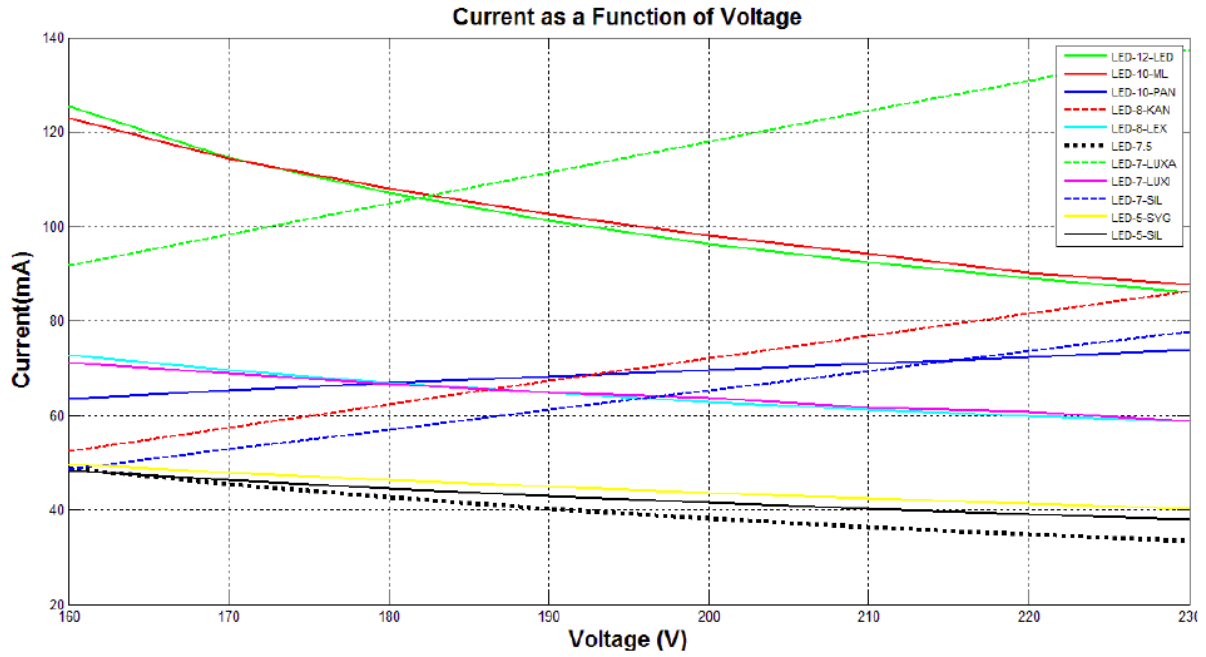
No	Code	Angle (Degree)			Wave Type
		Begin (α)	Peak (β)	Stop (γ)	
1	LED-12-LED	47.11	54.14	99.14	LED-B
2	LED-10-ML	68.90	75.94	99.14	LED-A
3	LED-10-PAN	48.51	55.55	99.14	LED-B
4	LED-8-LEX	56.25	59.76	96.34	LED-B
5	LED-7-LUXI	71.71	77.35	94.21	LED-A
6	LED-5-SYG	68.20	73.13	95.63	LED-A
7	LED-5-SIL	66.80	75.94	99.85	LED-A
8	CFL-24	50.63	56.25	98.44	CFL-A
9	CFL-18	44.30	47.81	100.55	CFL-A
10	CFL-15	42.89	45.70	99.85	CFL-A
11	CFL-9	45.70	50.63	99.85	CFL-A

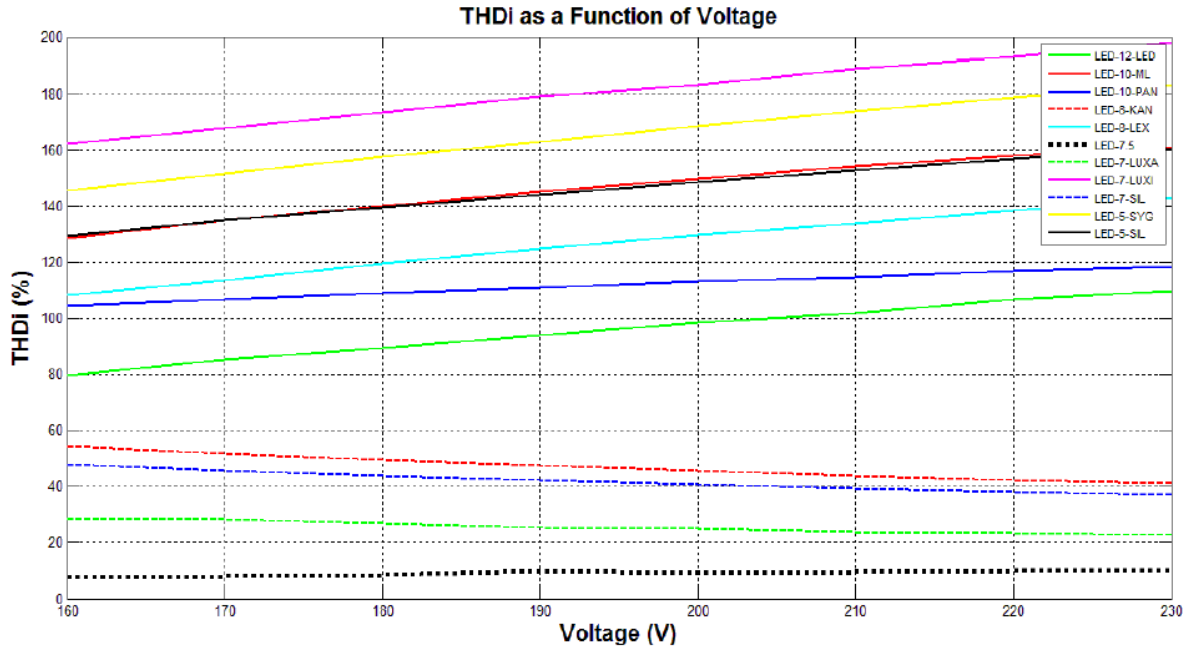
ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΤΑΣΗΣ

LED

Στα διαγράμματα παρακάτω φαίνεται η συμπεριφορά των λαμπτήρων LED για σαν συνάρτηση της τάσης:





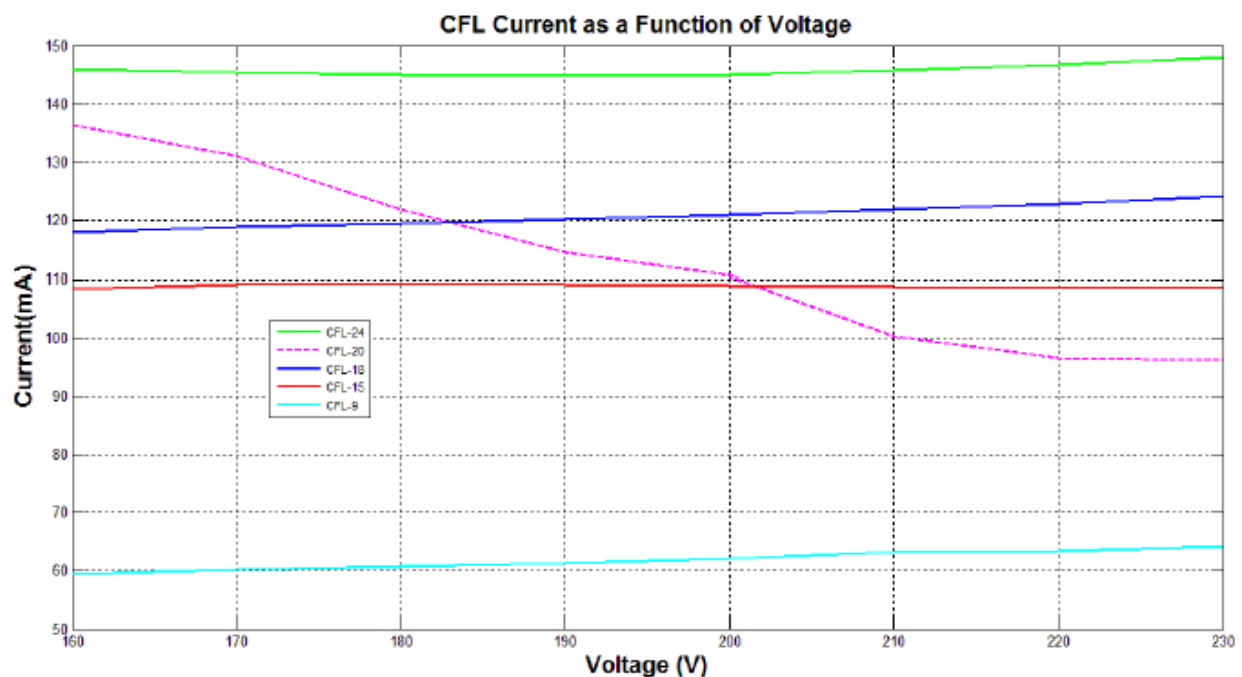


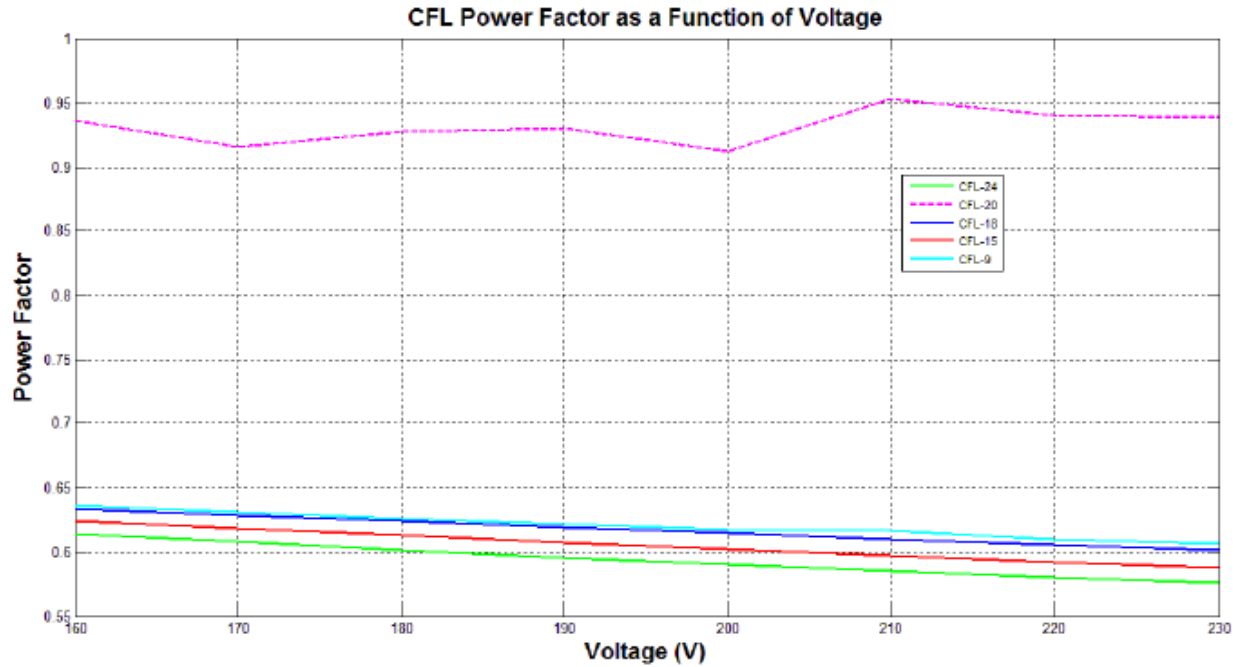
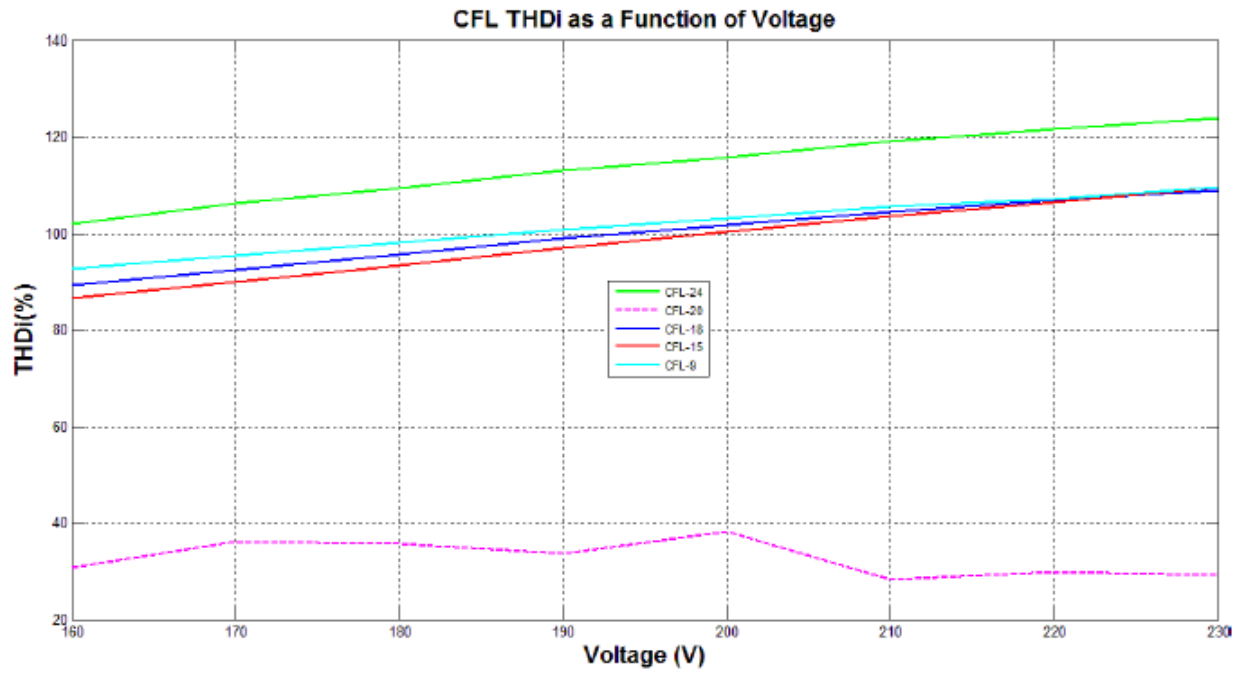
Μπορεί να συναχθεί ότι όλα τα γραφήματα LED παρουσίασαν ως επί το πλείστον γραμμική απόκριση σε σχέση με την αλλαγή τάσης στην περιοχή μεταξύ 230V και 160V. Επομένως, για να αναλυθεί η επίδραση της μεταβαλλόμενης τάσης στις αποδόσεις LED, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η κλίση κάθε καμπύλης. Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση τοποθέτησης πολυωνυμικής καμπύλης πρώτης τάξης, η κλίση λαμβάνεται και δίνεται στον πίνακα 4. Όπου k περιγράφει το ρυθμό μεταβολής της μεταβλητής εξόδου ανά μονάδα σχετικής αλλαγής της μεταβλητής εισόδου. V και I είναι το μέσο ρεύμα και η τάση στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας dI / dV είναι ο ρυθμός μεταβολής του ρεύματος ανά volta (τοπική κλίση). Οι σχετικές ευαισθησίες των ηλεκτρικών παραμέτρων που σχετίζονται με τις αλλαγές τάσης δίδονται στον πίνακα 5. Για $|k| < 1$ σημαίνει λιγότερο ευαίσθητη. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι το σημαντικό παράμετρο είναι η ευαισθησία ισχύος, καθώς δείχνει εάν η τροφοδοσία ισχύος στο σύστημα φωτισμού παραμένει σταθερή. Όσον αφορά την ποιότητα ισχύος, τα LED-A, LED-B και LED-D είναι

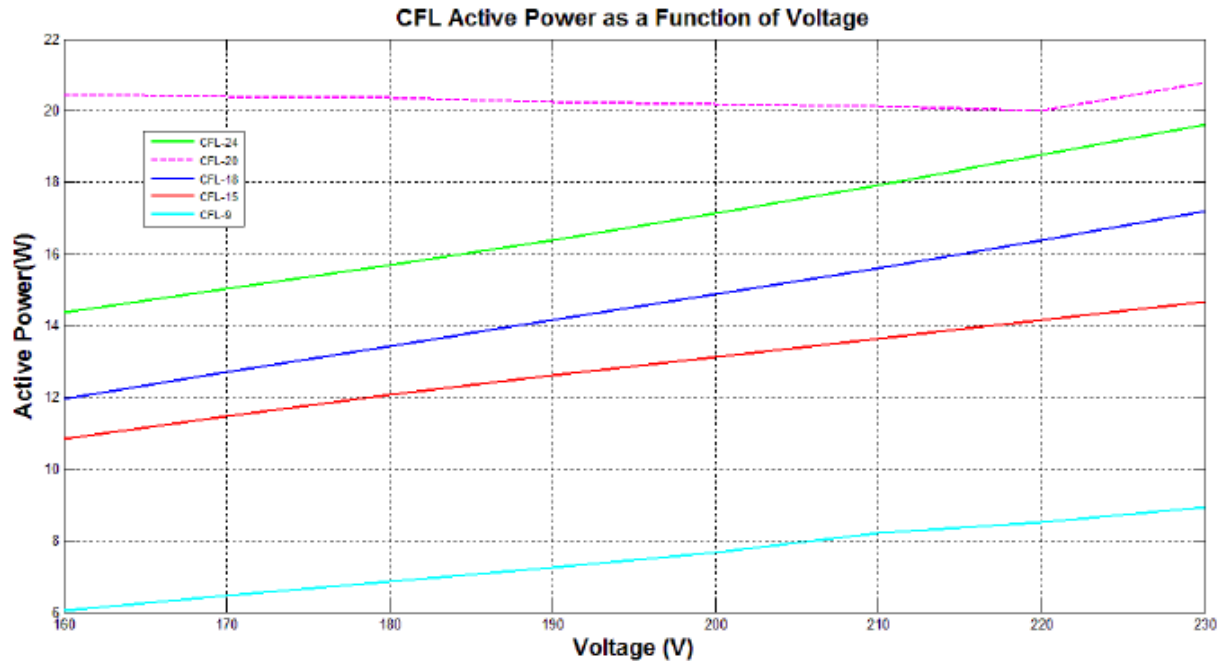
λιγότερο ευαίσθητα στις αλλαγές τάσης από ότι τα LED-C. Επιπλέον, η μείωση της τάσης εισόδου δεν παρέχει καμία σημαντική επίδραση στην κατανάλωση ισχύος και στην έξοδο φωτός των LED-A, των περισσότερων LED-B και LED-D. Μερικά από τα LED-B και LED-C έχουν την ισχύ τους κατ'ευθείαν ανάλογη με την τάση εισόδου, πράγμα που υποδηλώνει είτε κακή σχεδίαση (πηγή τάσης μετασχηματισμένη σε πηγή ρεύματος μέσω αντίστασης σειράς), είτε μη ρυθμιζόμενη τροφοδοσία ρεύματος προς το LED.

CFL

Από το σχήμα παρακάτω μπορεί να φανεί ότι οι αποκρίσεις των CFLs είχαν επίσης σχήμα γραμμικά ως LED. Η ποιότητα ισχύος όλων των CFL είναι σχετικά ευαίσθητη στις αλλαγές τάσης. Η ευαισθησία κυμαινόταν από 0,1 έως 0,2 για PF και από 0,5 έως 0,7 για THDi. Επιπλέον, η μείωση της τάσης δεν δίνει σημαντική επίδραση στην κατανάλωση ισχύος του CFL-B, αλλά θα κάνει το CFL-A να καταναλώνει λιγότερη ισχύ καθώς μειώνεται η τάση.







Η συγκεκριμένη έρευνα συνεπώς καταλήγει πως όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, το LED-C επηρεάζεται περισσότερο από τις αλλαγές στην τάση εισόδου. Οι άλλοι τύποι LED και CFL είναι λιγότερο ευαίσθητοι στη μείωση της τάσης εισόδου. Αυτό σημαίνει ότι το brownout επηρεάζει ελαφρώς την κατανάλωση ισχύος και την απόδοση φωτός αυτών των λαμπτήρων. Αυτό υποδηλώνει επίσης εάν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέτοιοι λαμπτήρες με συνεχή έξοδο φωτός στην παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος. Όσον αφορά την ποιότητα ισχύος, βρέθηκε ότι το LED-C είναι σχετικά ευαίσθητο στις διακυμάνσεις της τάσης εισόδου, η οποία διαφέρει από τα περισσότερα LED και όλα τα CFL γιατί είναι σχετικά μη ευαίσθητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ESL αποκρίνονται λόγω των διακυμάνσεων τάσης εξαρτώνται από την τοπολογία των μη τεκμηριωμένων έρματος και μπορεί να αξιολογηθούν με την προτεινόμενη προσέγγιση. Αν και οι τιμές THDi μειώνονται όταν μειώνεται η τάση, εξακολουθεί να υπάρχει υψηλή «ρύπανση» στο σύστημα ισχύος για τους περισσότερους λαμπτήρες ESL.

5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

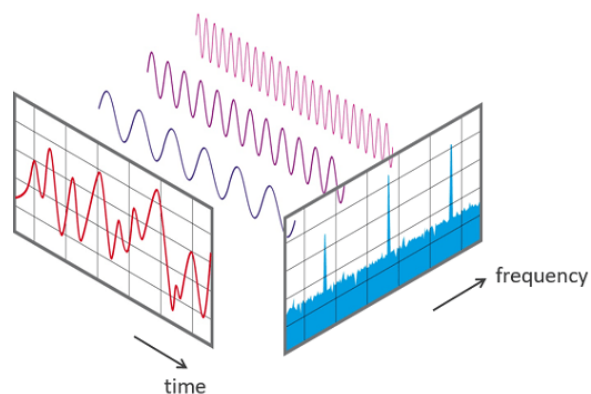
Ο φωτισμός αποτελεί σχεδόν το 20% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ζήτηση για ηλεκτρικό εξοπλισμό υψηλής ενεργειακής απόδοσης αυξάνεται μέρα με τη μέρα. Τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιείται λαμπτήρας φθορισμού που είναι ενεργειακά αποδοτικοί και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αλλά λόγω της χρήσης εξαρτημάτων με βάση τον ημιαγωγό, παράγει αρμονικές στην κυματομορφή τάσης και ρεύματος. Οι λαμπτήρες LED τώρα γίνονται δημοφιλείς στον χώρο του φωτισμού λόγω των διαφόρων πλεονεκτημάτων τους που έχουν ήδη αναφέρει όπως λιγότερη απαίτηση ισχύος, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, γρήγορος φωτισμός, μικρότερο κόστος, μικρό μέγεθος και εύκολα προσαρτημένοι σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων. Ωστόσο παράγει μεγάλη ποσότητα αρμονικών σε σύγκριση με τα CFL και IL (λαμπτήρας πυρακτώσεως).

Τα LED απαιτούν τροφοδοσία DC για τη λειτουργία τους. Λόγω της παρουσίας μη γραμμικού φορτίου στο σύστημα ισχύος, ανέρχονται στην επιφάνεια ζητήματα ποιότητας ισχύος. Τα διάφορα ζητήματα ποιότητας ισχύος παράγονται λόγω μη γραμμικού ρεύματος ή παραμόρφωσης στο ρεύμα. Αυτό το παραμορφωμένο ρεύμα ρέει στο σύστημα ισχύος και επηρεάζει τον εξοπλισμό του συστήματος ισχύος και τους γειτονικούς εξοπλισμούς. Διαπιστώνεται ότι τα περισσότερα νέα designs των LED με τις χαμηλότερες βαθμολογίες ισχύος έχουν εύρος ισχύος έως 0,6 και ολική αρμονική παραμόρφωση μεταξύ 100-140%. Ακόμα κι αν το μία λάμπα LED δεν δημιουργεί μεγάλο πρόβλημα στον τροφοδότη διανομής, ένας μεγάλος αριθμός λαμπτήρων LED που είναι συνδεδεμένοι στον ίδιο τροφοδότη μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα παραμόρφωσης του ρεύματος και της ποιότητας ισχύος.

Αρμονική παραμόρφωση

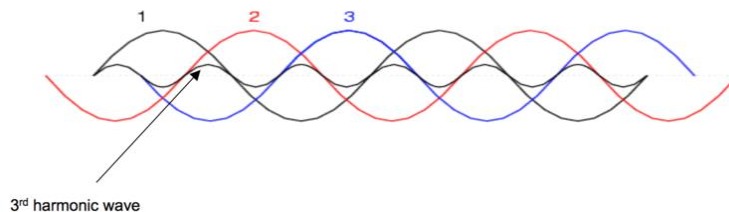
Σε ένα φυσιολογικό ηλεκτρικό κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος η ένταση του ρεύματος ακολουθεί μια ημιτονοειδή μορφή με συνήθη συχνότητες τα 50 ή 60 Hertz. Όταν ένα γραμμικό φορτίο συνδεθεί στο δίκτυο τραβάει ρεύμα με την ίδια ημιτονοειδή μορφή στην συχνότητα της τάσης. Αρμονικές παραμορφώσεις προκαλούνται από μη γραμμικά φορτία. Όταν ένα μη γραμμικό φορτίο, όπως ένας μετασχηματιστής ρεύματος AC – DC συνδεθεί στο σύστημα τραβάει ρεύμα που συνήθως δεν είναι ημιτονοειδές. Το ρεύμα τότε από ένα απλό ημίτονο γίνεται αρκετά πιο περίπλοκο ανάλογα και με το είδος των φορτίων που αλληλοεπιδρούν με το δίκτυο. Ωστόσο όσο περίπλοκο και αν είναι μπορούμε να απεικονιστεί με την χρήση μετασχηματισμού Fourier.

Ο μετασχηματισμός Fourier μας επιτρέπει να αποσυνθέσουμε κάθε περιοδική συνάρτηση ή περιοδικό σήμα στο άθροισμα από το οποίο αποτελείται το οποίο είναι και αυτό στην μορφή περιοδικών συναρτήσεων δηλαδή ημιτόνων και συνημίτων.



Εικόνα 5.1 Γραφική αναπαράσταση του μετασχηματισμού Fourier

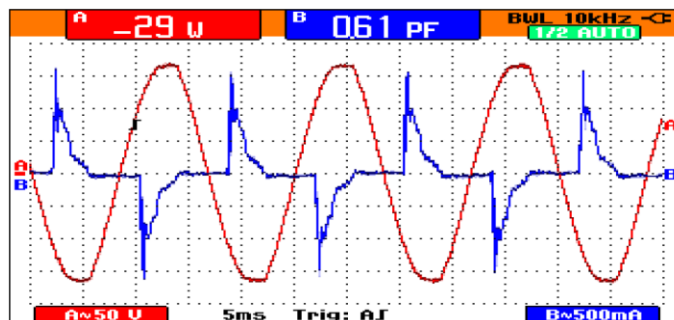
Έτσι λοιπόν μπορεί να αναλυθεί το σύνθετο ηλεκτρικό ρεύμα στην αρχική του συχνότητα και τις επιμέρους που το απαρτίζουν ώστε να κατανοηθεί ποιες είναι αυτές που αλλοιώνουν την αρχική του μορφή. Οι υπόλοιπες εμφανίζονται ως θετικά ακέραια πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας. Έτσι η αρμονική τρίτης τάξης είναι το τρίτο πολλαπλάσιο της βασικής συχνότητας. Τα διόδια όπως αναφέρθηκε και παραπάνω δεν είναι γραμμικά φορτία και παράγουν αρμονικές. Είναι γνωστό πως τα ηλεκτρικά κυκλώματα λειτουργούν με τριφασικό ρεύμα κατά κύριο λόγο για δύο πολύ απλούς λόγους, πρώτον γιατί οι γεννήτριες και ηλεκτρικοί κινητήρες που λειτουργούν με 3 φάσεις είναι πολύ πιο αποδοτικοί λόγω της συνεχούς ροπής και δεύτερον αφού θεωρητικά μπορούν οι 3 φάσεις να συμβάλουν σε ένα καλώδιο και να μηδενιστεί το ρεύμα γεγονός που επιτρέπει την μη ύπαρξη καλωδίου που να επιστρέφει στην πηγή ρεύματος. Ωστόσο η τρίτη αρμονική συγκεκριμένα επηρεάζει και δημιουργεί ταλαντευόμενο ρεύμα στο ουδέτερο καλώδιο γεγονός που είναι επικίνδυνο από την στιγμή που ο σχεδιασμός έχει γίνει για ελάχιστο έως μηδενικό ρεύμα. Για την αποφυγή αυτού του κινδύνου γίνεται η χρήση συνδεσμολογίας Delta ώστε να μην γίνεται ποτέ η συμβολή των τριών φάσεων.



Εικόνα 5.2 Αρμονικά κύματα

Αρμονική παραμόρφωση τάσης

Οι αρμονικές παραμορφώσεις της τάσης κατά κύριο λόγο δημιουργούνται λόγω των αρμονικών του ρεύματος. Συνήθως οι αρμονικές της τάσης είναι αρκετά πιο μικρές σε σύγκριση με αυτών του ρεύματος. Σε πολλές περιπτώσεις δεν λαμβάνονται υπ' όψη καθόλου.



Εικόνα 5.3 Αρμονική Παραμόρφωση Τάσης

Στην εικόνα παραπάνω φαίνεται η κυματομορφή της τάσης σε μία λάμπα φθορίου με μπλε χρώμα. Όπως είναι εύκολο παρατηρείται ότι σε σύγκριση με το ημιτονοειδές κύμα με το κόκκινο χρώμα, έχουμε αρκετές παραμορφώσεις λόγω των μη γραμμικών στοιχείων του λαμπτήρα όπως ο ανορθωτής ρεύματος. Παρ' όλα αυτά όμως είναι σημαντικό το γεγονός πως σε μία περίοδο του κύματος τάσης της λάμπας φθορίου το εμβαδόν πάνω από την καμπύλη είναι ίσο με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη. Αυτό σημαίνει πως η μέση ισχύς που παρέχουν οι αρμονικές του ρεύματος είναι μηδέν. Ωστόσο εάν έχουμε μεγαλύτερες παραμορφώσεις λόγω αρμονικών τάσης τότε οι αρμονικές του ρεύματος συμβάλουν στην συνολική ισχύ.

Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση

Η συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD) είναι ένα σύννηθες μέγεθος για τον υπολογισμό του επιπέδου της αρμονικής παραμόρφωσης που παρουσιάζεται σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Η συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD) μπορεί να αναφέρεται είτε στην ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είτε στην τάση του και ορίζεται ως ο λόγος των συνολικών αρμονικών προς την βασική συχνότητα επί 100%.

Η μαθηματική μοντελοποίηση είναι η εξής:

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n V_k^2}}{V_1} \cdot 100\%$$
$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1} \cdot 100\%$$

Όπου k είναι ο αριθμός της αντίστοιχης αρμονικής και με $k=1$ εννοούμε την βασική συχνότητα. Συχνά στους υπολογισμούς της ισχύος δεν λαμβάνονται υπ' όψη αρμονικές τάσης μεγαλύτερης τάξης ωστόσο εάν τα θεωρήσουμε αρκετά υπολογίσιμα μεγέθη τότε η ισχύς υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P_{avg} = \sum_{k=1}^{\infty} V_k \cdot I_k \cdot pf = P_{avg,1} + P_{avg,2} + \dots$$

Όπου V_k , I_k οι αντίστοιχες RMS τιμές της k αρμονικής και pf η συντελεστής ισχύος χωρίς να λάβουμε υπ' όψη τις αρμονικές παραμορφώσεις, στην βιβλιογραφία ονομάζεται displacement power factor. Υπάρχει και ένας άλλος συντελεστής ισχύος ο οποίος επηρεάζεται από της αρμονικές παραμορφώσεις. Ο πραγματικός συντελεστής ισχύος μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$pf_{true} = \frac{P_{avg}}{V_{rms} I_{rms}}$$

Όπου

$$V_{rms} = V_{1,rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2}$$

$$I_{rms} = I_{1,rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}$$

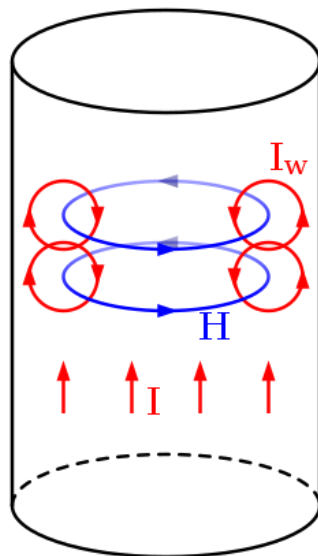
Συνέπειες των αρμονικών

Εκτός από την παραμόρφωση του ημιτονοειδούς κύματος της τάσης και της έντασης του ρεύματος οι αρμονικές παραμορφώσεις έχουν και επιπλέον συνέπειες για το ηλεκτρικό δίκτυο που επηρεάζουν. Από την στιγμή που οι αρμονικές τάσεις παράγουν αρμονικά ρεύματα με συχνότητα αρκετά πιο υψηλή από την βασική συχνότητα του συστήματος αυτά τα ρεύματα αντιμετωπίζουν

πολύ μεγαλύτερες αντιστάσεις καθώς μεταδίδονται μέσω του συστήματος από το βασικό ρεύμα συχνότητας. Αυτό οφείλεται στο **επιδερμικό φαινόμενο “Skin Effect”** όπου υψηλότερες συχνότητας ρεύματα ρέουν κοντά στην επιφάνεια του αγωγού.

Το Επιδερμικό φαινόμενο (Skin Effect)

Όταν η ένταση του ρεύματος σε έναν αγωγό αλλάζει, το μαγνητικό πεδίο αλλάζει επίσης. Η αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο, με τη σειρά του, δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο αντιτίθεται στη μεταβολή της έντασης του ρεύματος. Αυτό το αντίθετο ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται "αντι-ηλεκτρομαγνητική δύναμη" (back EMF). Το back EMF είναι ισχυρότερο στο κέντρο του αγωγού και ωθεί τα ηλεκτρόνια στο εξωτερικό του αγωγού, όπως φαίνεται στην εικόνα:



Συνεπώς αφού πολύ λίγο ρεύμα υψηλής συχνότητας μπορεί να διαπεράσει πολύ κάτω από την επιφάνεια του αγωγού τόσο λιγότερο εμβαδόν διατομής χρησιμοποιείται. Οπότε αφού το εμβαδόν διατομής του αγωγού μικραίνει τότε η αντίσταση θα αυξηθεί. Η αύξηση της αντίστασης προκαλεί όπως και είναι λογικό και αναμενόμενο παραγωγή θερμότητας. Συνήθως η θερμότητα αυτή παρατηρείτε σε δύο σημεία , τον ουδέτερο αγωγό και τους μετασχηματιστές. Αρμονικές περιττού αριθμού (3^η , 9^η , 15^η, κλπ..) δημιουργούν αρκετά προβλήματα αφού διαρρέουν τον ουδέτερο αγωγό και κυκλοφορούν στις συνδέσεις μορφής δέλτα των μετασχηματιστών παράγοντας επιπλέον θερμότητα.

Πώς περιορίζονται οι αρμονικές παραμορφώσεις

Εξαιτίας της μεγάλου προβλήματος που δημιουργούν οι αρμονικές παραμορφώσεις στα ηλεκτρικά συστήματα το IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) δημιούργησε ένα standard **519-1992** για να ορίσει πρακτικές λύσεις με σκοπό να περιοριστούν οι αρμονικές παραμορφώσεις. Επιπλέον το standard αυτό ορίζει τις μέγιστες επιτρεπτές παραμορφώσεις για την τάση και το ρεύμα για διάφορα συστήματα. Η σημερινή του αντικατάσταση είναι το **519 – 2014**

Δύο προσεγγίσεις υπάρχουν για την επίλυση του προβλήματος της θερμότητας λόγω αρμονικών και συνήθως ένας συνδυασμός τους εφαρμόζεται.

Τα όρια αρμονικών εκπομπών για λαμπτήρες LED χωρίζονται στην ενεργή ισχύ εισόδου τους έως και 25 watt και άνω. Ο λαμπτήρας με ενεργό μικρότερο ή ίσο με 25 watt πρέπει να πληροί τα κριτήρια ότι το τρίτο αρμονικό ρεύμα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 86% του θεμελιώδους και

πέμπτο αρμονικό ρεύμα να μην υπερβαίνει το 61%, αυτό δίνει τις τιμές του τρέχοντος THD περίπου ίσο με 105%.

Διαδικασία αξιολόγησης ποιότητας ισχύος:

Τα προβλήματα ποιότητας ισχύος αποτελούνταν από ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών φαινομένων. Κάθε ένα από αυτά τα φαινόμενα μπορεί να έχει μια ποικιλία διαφορετικών αιτίων και διαφορετικών λύσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ποιότητας ισχύος και της απόδοσης του εξοπλισμού. Ο Πίνακας παρακάτω δείχνει γενικά βήματα που απαιτούνται συχνά σε μια έρευνα Ποιότητας Ισχύος, μαζί με τα βασικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν σε κάθε βήμα.

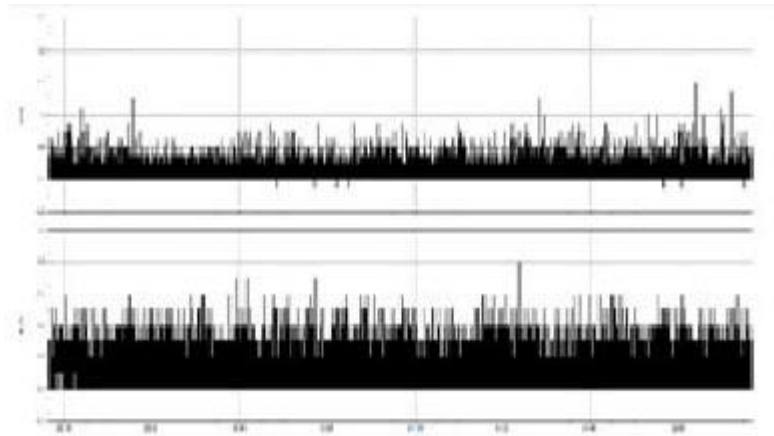
Παρακάτω αναφέρεται μία μέτρηση σε λαμπτήρες LED, IL και CFL που δημοσιεύτηκε από Asst. Prof. at SVPM's COE, Malegaon(BK) Department of Electrical Engineering, SVPM's COE, Malegaon (BK), Baramati, India Savitribai Phule Pune University. Somnath G. Galave, Suraj D. Dadas, Sandesh N. Namgfar, Mr Shrikant D. Mangate

Πειραματισμός

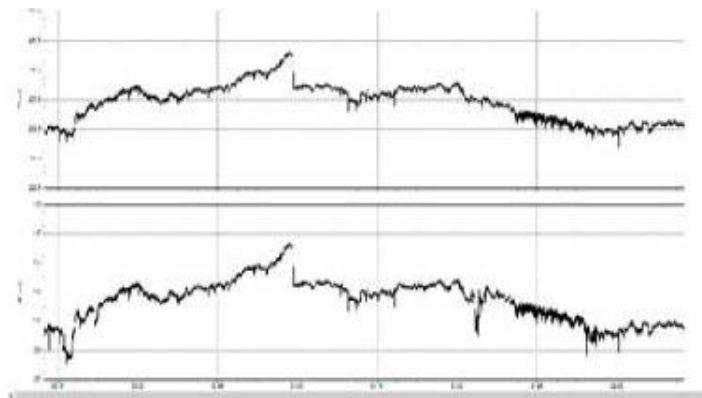
Για την ανάλυση των ζητημάτων ποιότητας ισχύος που παράγονται από διαφορετικούς λαμπτήρες, χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικοί τύποι λαμπτήρων διαφορετικών χαρακτηριστικών αλλά συνολικά 60 watt. Όλοι οι δοκιμαστικοί λαμπτήρες επιλέχθηκαν έτσι ώστε να λειτουργούν στα 230-240 Volts και έχουν κατανάλωση ισχύος από 4 έως 18 Watt. Για να λάβετε ακριβή δεδομένα σχετικά με το ακριβές αρμονικό περιεχόμενο διαφορετικών λαμπτήρων, μια πειραματική εγκατάσταση όπως φαίνεται στο σχήμα 1 αποτελείται από βασικά εξαρτήματα, συγκεκριμένα, FLUKE-435 -Series 2 Power Quality Analyzer, τρέχον σφιγκτήρα, διαφορετικούς λαμπτήρες υπό δοκιμή, και ένα προσωπικό υπολογιστή για την ανάλυση των δεδομένων. Η πραγματική ανάλυση των διαφόρων λαμπτήρων γίνεται σε τέσσερα βήματα. Σε κάθε βήμα πραγματοποιήθηκε

ανάγνωση ενός τύπου λαμπτήρα για διάρκεια δύο ωρών το όνομα του λαμπτήρα και η ανάγνωσή του έχουν ως εξής.

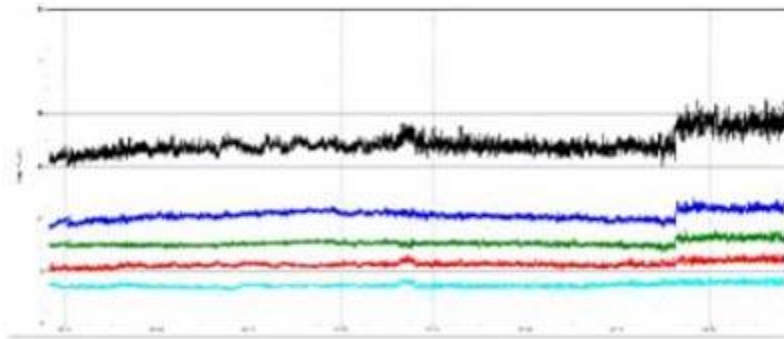
Λαμπτήρας CFL



Εικόνα 5.5 Παραμόρφωση ρεύματος για λαμπτήρα CFL

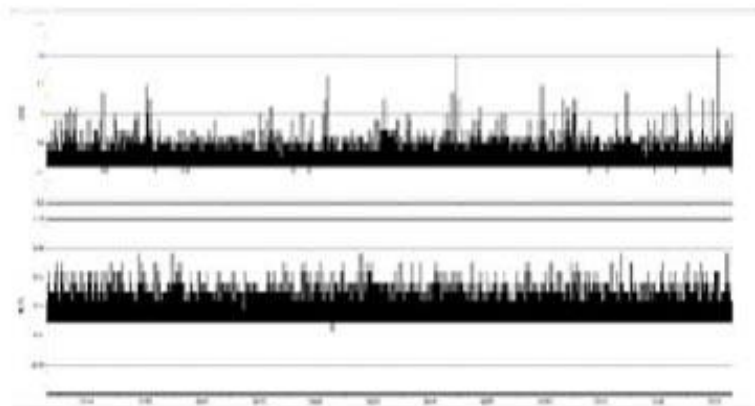


Εικόνα 5.6 Παραμόρφωση τάσης για λαμπτήρα CFL

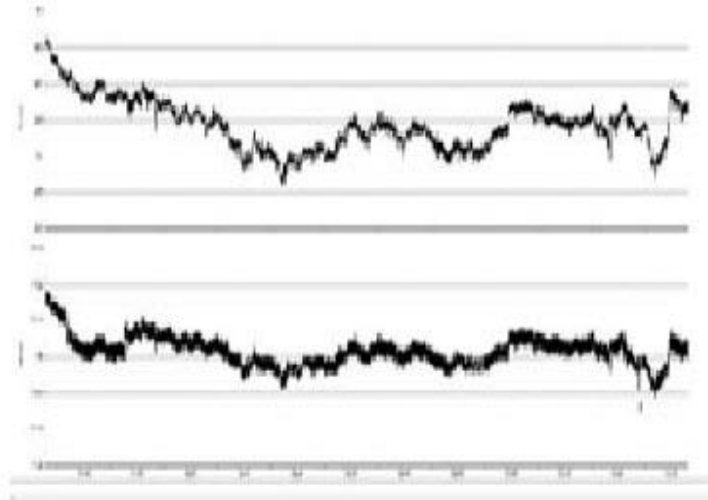


Εικόνα 5.6 Αρμονική παραμόρφωση για λαμπτήρα CFL

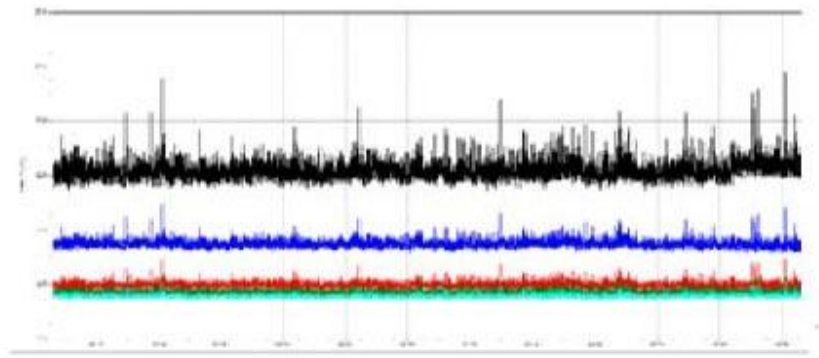
Λαμπτήρας IΛ



Εικόνα 5.8 Παραμόρφωση ρεύματος για λαμπτήρα IΛ

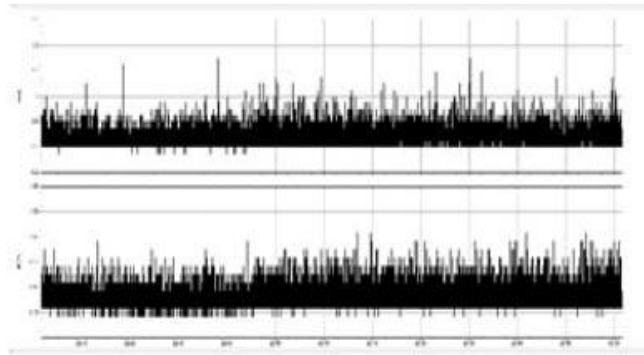


Εικόνα 5.9 Παραμόρφωση τάσης για λαμπτήρα PL

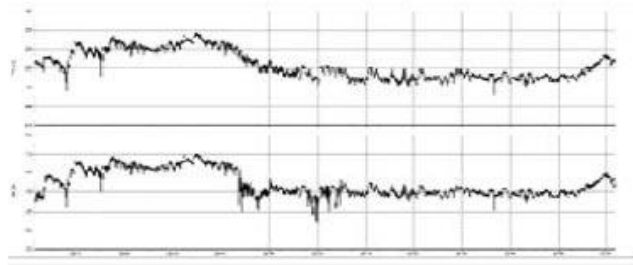


Εικόνα 5.10 Αρμονική παραμόρφωση για λαμπτήρα CFL

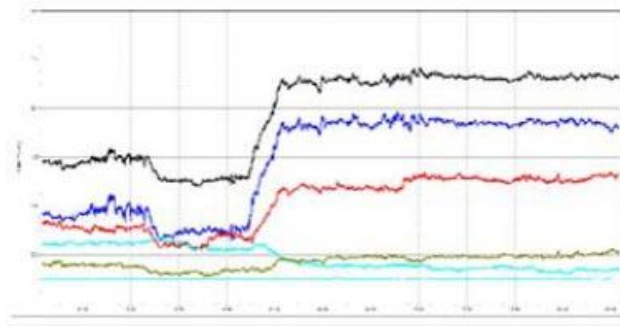
Λαμπτήρας II



Εικόνα 5.11 Παραμόρφωση ρεύματος για λαμπτήρα LED



Εικόνα 5.12 Παραμόρφωση τάσης για λαμπτήρα LED



Εικόνα 5.13 Αρμονική παραμόρφωση για λαμπτήρα LED

IL			CFL			LED		
Phase	R	N	Phase	R	N	Phase	R	N
Voltage	243.26	118.37	Voltage	231.9	110.16	Voltage	231.2	107.92
Current	0.3	0.9	Current	0.3	0.3	Current	0.6	0.4
VTHD%	1.53	1.26	VTHD%	2.5	2.5	VTHD%	1.46	1.07
ITHD%	12.38	18.98	ITHD%	39.59	41.9	ITHD%	50.09	49.2
Active Power(W)	60		Active Power(W)	59		Active Power(W)	70	
Reactive Power(VAR)	30		Reactive Power(VAR)	32		Reactive Power(VAR)	35	
Apparent Power (VA)	80		Apparent Power (VA)	81		Apparent Power (VA)	105	
Frequency (Hz)	48.98		Frequency (Hz)	49.92		Frequency (Hz)	50.04	
Power Factor	0.68		Power Factor	0.7		Power Factor	0.86	

6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΛΑΜΠΕΣ LED

Η θερμική διαχείριση των λαμπτήρων LED είναι πολύ σημαντική αφού επηρεάζει άμεσα την διάρκεια ζωής και την απόδοσή τους. Χωρίς την ορθή εφαρμογή των αρχών σχεδιασμού θερμικής διαχείρισης, τα πιθανά οφέλη του φωτισμού και η ικανότητά του να διατίθεται με επιτυχία στην αγορά θα μειωθούν. Η αποτελεσματικότητα των LED είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του λαμπτήρα. Όσο η θερμοκρασία του λαμπτήρα LED αυξάνεται τόσο πέφτει η αποδοτικότητά του, συνεπώς για την επίτευξη της επιθυμητής φωτεινής έντασης είναι αναγκαίο να τοποθετηθούν περισσότεροι λαμπτήρες, με αποτέλεσμα να υπάρχει αύξηση της ισχύς που καταναλώνεται από το σύστημα όπως και του κόστους των υλικών. Συνεπώς αυξάνεται το λειτουργικό κόστος.

Η ικανότητα του λαμπτήρα LED να διατηρεί την φωτεινότητά του είναι επίσης ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυτό το χαρακτηριστικό μειώνεται δραστικά γεγονός που οδηγεί στην αντικατάσταση του λαμπτήρα αυξάνοντας το λειτουργικό του κόστος. Επιπλέον η μη σωστή διαχείριση της θερμοκρασίας διακλάδωσης των LED μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του κυρίαρχου μήκους κύματος και της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος της εξόδου φωτός των φωτιστικών, ενώ προκαλεί τη μείωση του CRI της συσκευής

(δείκτης χρωματικής απόδοσης), που σημαίνει ότι το φωτιστικό είναι λιγότερο πιθανό να αναπαράγει αληθινά χρώματα. Υπάρχουν κρίσιμες εφαρμογές χρώματος που επηρεάζονται δυσμενώς από αλλαγές σε αυτές τις παραμέτρους, όπως η ανίχνευση χρώματος, η φωτογραφία, οι οθόνες και η σήμανση και ο εξοπλισμός κινηματογραφίας. Ο σκοπός που επιλέγονται οι λαμπτήρες LED είναι η μείωση του κόστους συντήρησης συνεπώς κατανοούμε πως η σωστή διαχείριση της θερμοκρασίας τους (θερμοκρασίας διασταύρωσης) είναι κρίσιμη για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός.

Υπάρχουν αρκετές παράμετροι των LED που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την εφαρμογή της σωστής θερμικής διαχείρισης. Η μπροστινή τάση ενός LED επηρεάζεται άμεσα από τη θερμοκρασία διασταύρωσης: καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία διασταύρωσης, μειώνεται η τάση προς τα εμπρός. Οι περισσότεροι από τους σημερινούς λαμπτήρες LED τροφοδοτούνται από ένα κύκλωμα συνεχούς ρεύματος. Καθώς η τάση προς τα εμπρός μειώνεται, η ηλεκτρική ισχύς μειώνεται επίσης. Αυτή η μειωμένη ισχύς που εφαρμόζεται στο LED, σε συνδυασμό με τη χαμηλότερη αποτελεσματικότητα που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας, συντελεί στην απώλεια της φωτεινότητας. Η απαγωγή ισχύος δημιουργεί θερμότητα μέσα στο LED και αυξάνει τη θερμοκρασία διασταύρωσης. Καθώς η ηλεκτρική ισχύς (προϊόν του εφαρμοζόμενου ρεύματος προς τα εμπρός και της τάσης προώθησης LED) ρέει μέσω του LED, μετατρέπεται σε οπτική ισχύ και θερμότητα.

Επειδή το LED είναι κλειστό σύστημα, το άθροισμα της οπτικής ισχύος και της θερμότητας ισούται με την ισχύουσα ηλεκτρική ισχύ. Ένα λευκό LED 100 lumen θα παράγει περίπου 330mW οπτικής ισχύος για κάθε Watt ηλεκτρικής ισχύος. Τα υπόλοιπα 670mW μετατρέπονται σε θερμότητα. Ένα πλεονέκτημα της αύξησης της αποτελεσματικότητας των LED είναι η μετατροπή λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας σε θέρμανση. Η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας

διασταύρωσης και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι προϊόν της θερμότητας που παράγεται και της θερμικής σύνθετης αντίστασης της διαδρομής από τη σύνδεση LED προς το περιβάλλον. Με τη μείωση της θερμότητας ή της θερμικής σύνθετης αντίστασης, η θερμοκρασία σύνδεσης θα μειωθεί. Η θερμική αντίσταση είναι ένα μέτρο του πόσο καλά το σύστημα μεταφέρει τη θερμότητα από την πηγή. Για λαμπτήρες LED, η θερμότητα μεταφέρεται με συνδυασμό αγωγιμότητας και μεταφοράς.

Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα είναι η μεταφορά θερμότητας σε στερεά ύλη και εξαρτάται από το θερμικό χαρακτηριστικό του στερεού και τη γεωμετρία του. Για υλικό με δεδομένη θερμική αγωγιμότητα (k), η ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται μέσω του υλικού (q), το πραγματικό πάχος του υλικού (L) παράλληλα με τη ροή της θερμότητας και η πραγματική περιοχή της θερμικής διαδρομής (A), η αλλαγή θερμοκρασίας από το όριο του υλικού (T_1) πλησιέστερα στην πηγή θερμότητας στο δεύτερο όριο (T_2) υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση που προέρχεται από τον νόμο της θερμικής αγωγιμότητας του Fourier:

$$T_1 - T_2 = \frac{q \cdot L}{k \cdot A}$$

Ως εκ τούτου, μεγιστοποιώντας τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού (k) και την αποτελεσματική επιφάνεια του θερμικού μονοπατιού (A) και ελαχιστοποιώντας το μήκος της θερμικής διαδρομής (L), ελαχιστοποιείται η αλλαγή της θερμοκρασίας κατά μήκος της θερμικής διαδρομής από το πρώτο έως το δεύτερο όριο.

Μεταφορά

Η μεταφορά είναι η μεταφορά θερμότητας από ένα όριο στερεάς ύλης σε ένα αέριο ή υγρό. Η μεταφορά εξαρτάται από την επιφάνεια του ορίου και την κινητικότητα του αερίου ή του υγρού. Εάν το αέριο ή το υγρό είναι ακίνητο, η μεταφορά θερμότητας θεωρείται φυσική μεταφορά. Εάν το αέριο ή το υγρό κινείται, η μεταφορά θερμότητας είναι αναγκαστική μεταφορά. Για το στερεό με αποτελεσματική επιφάνεια (A), η ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται (q), το αέριο ή το υγρό έχει συντελεστή μεταφοράς θερμότητας εξαρτώμενης από τη ροή (h), η οποία οδηγεί σε μεταβολή της θερμοκρασίας από το στερεό στο αέριο ή το υγρό. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί με την ακόλουθη εξίσωση που προκύπτει από τον νόμο ψύξης του Νεύτωνα:

$$T_S - T_A = \frac{q}{h \cdot A}$$

Με τη μεγιστοποίηση της πραγματικής επιφάνειας (A) και του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας μεταφοράς (h), ελαχιστοποιείται η αλλαγή θερμοκρασίας από το στερεό όριο στο αέριο ή τη θερμοκρασία υγρού. Εφαρμόζοντας αυτές τις μεθόδους θερμικής αγωγής και μεταφοράς στο σχεδιασμό του φωτιστικού, η θερμοκρασία διασταύρωσης LED μπορεί να διατηρηθεί για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Τα συνήθη όρια του θερμικού σχεδιασμού είναι φυσικοί περιορισμοί και κόστος τοποθέτησης.

Θερμοκρασία διασταύρωσης

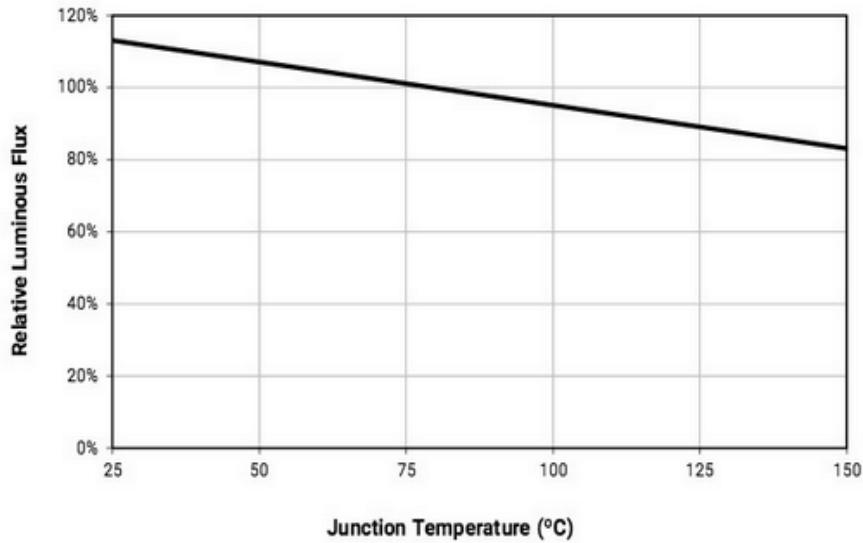
Πολλοί ημιαγωγοί και τα οπτικά περιβάλλοντά τους είναι μικρά, καθιστώντας δύσκολη τη μέτρηση της θερμοκρασίας διασταύρωσης με άμεσες μεθόδους όπως θερμοζεύγη και υπέρυθρες κάμερες. Η θερμοκρασία διασταύρωσης μπορεί να μετρηθεί έμμεσα χρησιμοποιώντας το εγγενές

χαρακτηριστικό εξάρτησης τάσης / θερμοκρασίας της συσκευής. Σε συνδυασμό με μια τεχνική Joint Electron Device Engineering Council (JEDEC) όπως JESD 51-1 και JESD 51-51, αυτή η μέθοδος θα παράγει ακριβείς μετρήσεις T_j . Ωστόσο, αυτή η τεχνική μέτρησης είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε κυκλώματα σειράς πολλαπλών LED λόγω των υψηλών τάσεων λειτουργίας και της ανάγκης για γρήγορους, υψηλής ταχύτητας παλμικούς κύκλους λειτουργίας. Αυτή η δυσκολία μπορεί να ξεπεραστεί συνδυάζοντας ψηφιακά πολύμετρα δειγματοληψίας υψηλής ταχύτητας και γρήγορες παλμικές πηγές υψηλής συμμόρφωσης. Μόλις η θερμοκρασία διασταύρωσης είναι γνωστή, μια άλλη σημαντική παράμετρος, η θερμική αντίσταση ($R\theta$), μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$R\theta = \Delta T / (V_f * I_f)$$

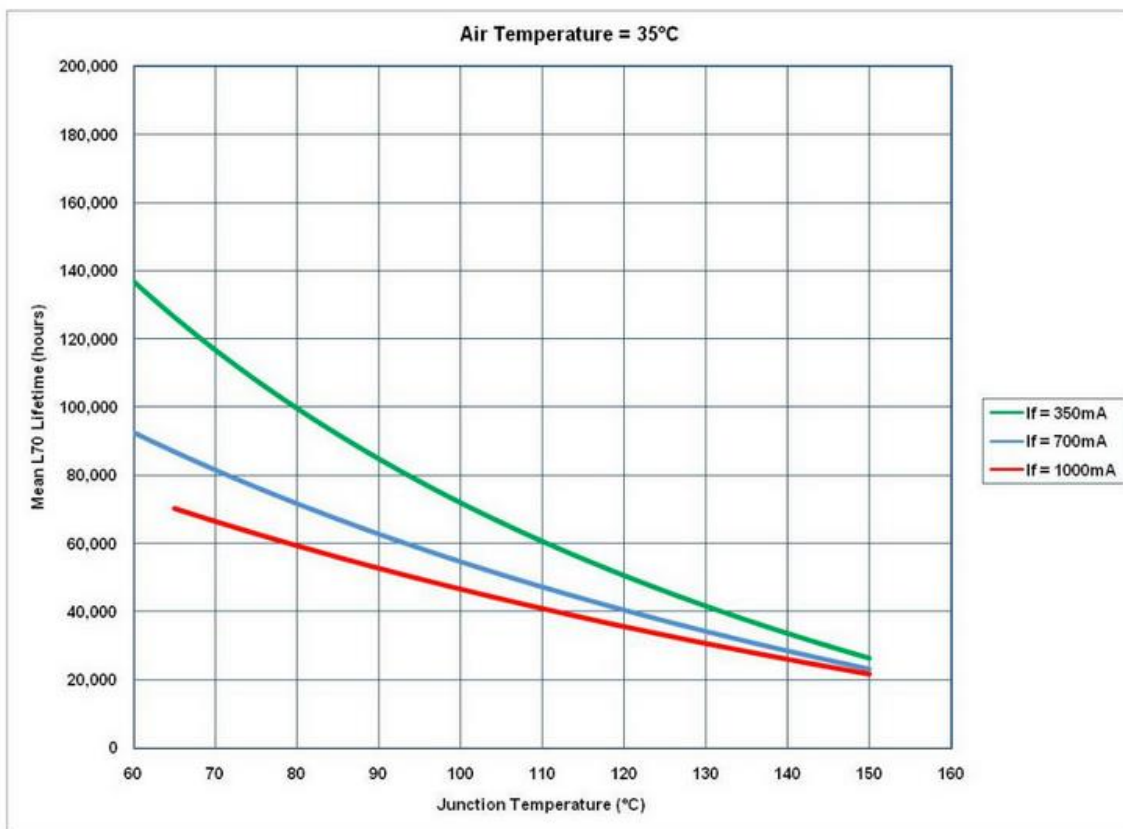
Επιδράσεις στα οπτικά χαρακτηριστικά

Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία διασταύρωσης, η απόδοση με την οποία μετατρέπει το ρεύμα σε φως μειώνεται. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας διακλάδωσης οδηγεί σε μείωση της φωτεινότητας των LED όταν χρησιμοποιείται μια μονάδα συνεχούς ρεύματος. Το γράφημα παρακάτω απεικονίζει ένα παράδειγμα στο οποίο η θερμοκρασία διακλάδωσης μεταβάλλεται αλλάζοντας τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ενώ το ρεύμα παραμένει σταθερό. Απαιτείται σχεδιασμός με καλή απαγωγή θερμότητας προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι μειώσεις της φωτεινής έντασης λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας διακλάδωσης.



Εικόνα 5.5 Γράφημα Θερμοκρασίας Διασταύρωσης – Φωτεινότητας

Οι αυξήσεις στη θερμοκρασία διασταύρωσης αλλάζουν επίσης το φάσμα του φωτός που εκπέμπεται από το ίδιο το στοιχείο, αλλάζοντας το κυρίαρχο μήκος κύματος. Σε προϊόντα που χρησιμοποιούν φθορίζον υλικό, τα αποτελέσματα της θερμότητας μπορούν επίσης να μειώσουν την απόδοση του φθορισμού υλικού, το οποίο αλλάζει την αναλογία φθορισμού σε σχέση με το φως που εκπέμπεται από το στοιχείο, αλλάζοντας έτσι το χρώμα του φωτός. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, είναι σκόπιμο τα προϊόντα να σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν επαρκή απαγωγή θερμότητας ώστε να αποφεύγονται τυχόν μειώσεις της φωτεινής έντασης και να ελέγχεται η πραγματική εμφάνιση του προϊόντος υπό αυτές τις συνθήκες. Επιπλέον η αύξηση της θερμοκρασίας της διασταύρωσης P-N μειώνει την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα LED.



Εικόνα 5.6 Γράφημα Θερμοκρασίας Διασταύρωσης – Χρόνου Ζωής

Επιδράσεις στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία διασταύρωσης, μειώνεται η απαιτούμενη τάση προς τα εμπρός, ακόμη και όταν εφαρμόζεται το ίδιο ρεύμα προώθησης. Ως αποτέλεσμα, η ροή ρεύματος μπορεί να υπερβεί την ονομαστική τιμή όταν χρησιμοποιείται κύκλωμα σταθερής τάσης.

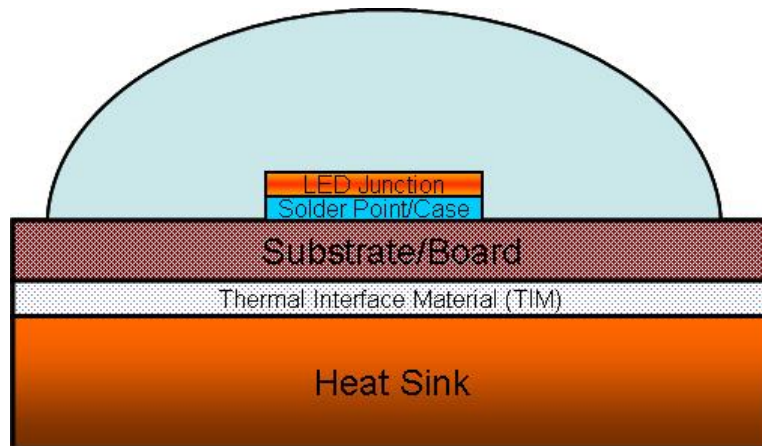
Διαχείριση θερμότητας

Για να διατηρηθεί η θερμοκρασία διασταύρωσης σε χαμηλά επίπεδα εφαρμόζονται διάφοροι μέθοδοι αφαίρεσής της από το λαμπτήρα LED. Συνήθως, τα LED ενθυλακώνονται σε μια διαφανή

ρητίνη με βάση πολυουρεθάνη, η οποία είναι ένας κακός θερμικός αγωγός. Σχεδόν όλη η θερμότητα που παράγεται διέρχεται από την πίσω πλευρά του τσιπ. Η θερμότητα παράγεται από τη διασταύρωση p-n με ηλεκτρική ενέργεια που δεν μετατράπηκε σε χρήσιμο φως και μεταφέρθηκε σε εξωτερική ατμόσφαιρα μέσω μιας μακράς διαδρομής, από τη διασταύρωση στο σημείο συγκόλλησης, το σημείο συγκόλλησης στην πλακέτα και την επιβίβαση στην ψύκτρα και μετά η ατμόσφαιρα. Η θερμοκρασία διασταύρωσης θα είναι χαμηλότερη εάν η θερμική αντίσταση είναι μικρότερη και ομοίως, με χαμηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για να μεγιστοποιηθεί το χρήσιμο εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος για μια δεδομένη απορρόφηση ισχύος, πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η συνολική θερμική αντίσταση από τη διασταύρωση στο περιβάλλον.

Οι τιμές για τη θερμική αντίσταση ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τον προμηθευτή υλικού ή εξαρτημάτων. Για παράδειγμα, θα κυμαίνεται από $2,6 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$ έως $18 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$, ανάλογα με τον κατασκευαστή των LED. Η θερμική αντίσταση του υλικού θερμικής διεπαφής (TIM) θα ποικίλει επίσης ανάλογα με τον τύπο του υλικού που επιλέγεται. Τα συνηθισμένα TIMs είναι εποξικά, θερμικά γράσα, κόλλα ευαίσθητα στην πίεση και κόλληση. Τα τροφοδοτικά LED συχνά τοποθετούνται σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων από μέταλλο-πυρήνα (MCPCB), οι οποίες θα συνδεθούν σε μια ψύκτρα. Η θερμότητα που πραγματοποιείται μέσω του MCPCB και της ψύκτρας διαχέεται με μεταφορά και ακτινοβολία. Στο σχεδιασμό της συσκευασίας, η επιπεδότητα και η ποιότητα κάθε εξαρτήματος, η εφαρμοζόμενη πίεση συναρμολόγησης, η περιοχή επαφής, ο τύπος του υλικού διασύνδεσης και το πάχος του είναι όλες σημαντικές παράμετροι στο σχεδιασμό θερμικής αντίστασης. Παρακάτω υπάρχουν αναλυτικά πως λειτουργεί μία ψύκτρα που χρησιμοποιείται σε λαμπτήρα LED.

Ψύκτρες (Heat Sink)



Εικόνα 5.7 LED λαμπτήρας σε τομή

Οι ψύκτρες παρέχουν μια διαδρομή για τη θερμότητα από την πηγή LED προς το εξωτερικό μέσο. Στη θερμοδυναμική, μια ψύκτρα είναι μια δεξαμενή θερμότητας που μπορεί να απορροφήσει μια αυθαίρετη ποσότητα θερμότητας χωρίς να αλλάξει σημαντικά τη θερμοκρασία. Οι πρακτικές ψύκτρες για ηλεκτρονικές συσκευές πρέπει να έχουν θερμοκρασία υψηλότερη από το περιβάλλον για να μεταφέρουν θερμότητα μέσω μεταφοράς, ακτινοβολίας και αγωγιμότητας. Τα τροφοδοτικά των ηλεκτρονικών δεν είναι 100% αποδοτικά, επομένως παράγεται επιπλέον θερμότητα που μπορεί να είναι επιζήμια για τη λειτουργία της συσκευής. Ως τέτοια, μία ψύκτρα περιλαμβάνεται στο σχεδιασμό για τη διασπορά της θερμότητας.

Υλικό Ψύκτρας

Η θερμική αγωγιμότητα του υλικού από το οποίο κατασκευάζεται η ψύκτρα επηρεάζει άμεσα την απόδοση απορρόφησης μέσω της αγωγιμότητας. Κανονικά πρόκειται για αλουμίνιο, αν και ο χαλκός μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πλεονέκτημα για ψύκτρες θερμότητας με επίπεδη φύλλα. Τα νέα υλικά περιλαμβάνουν θερμοπλαστικά που χρησιμοποιούνται όταν οι απαιτήσεις απαγωγής θερμότητας είναι χαμηλότερες από το κανονικό ή το περίπλοκο σχήμα θα επωφεληθεί από τη χύτευση με έγχυση και φυσικά διαλύματα γραφίτη που προσφέρουν καλύτερη θερμική μεταφορά από τον χαλκό με μικρότερο βάρος από το αλουμίνιο συν την ικανότητα να διαμορφωθεί σε σύμπλοκο δισδιάστατα σχήματα. Ο γραφίτης θεωρείται εξωτική λύση ψύξης και έχει υψηλότερο κόστος παραγωγής. Μπορούν επίσης να προστεθούν σωλήνες θερμότητας σε ψύκτες αλουμινίου ή χαλκού για τη μείωση της αντοχής στη διάδοση.

Σχήμα Ψύκτρας

Η θερμική μεταφορά πραγματοποιείται στην επιφάνεια της ψύκτρας. Επομένως, οι ψύκτρες θερμότητας πρέπει να είναι σχεδιασμένοι ώστε να έχουν μεγάλη επιφάνεια. Αυτός ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό λεπτών πτερυγίων ή αυξάνοντας το μέγεθος της ίδιας της ψύκτρας. Παρόλο που μια μεγαλύτερη επιφάνεια επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση ψύξης, πρέπει να υπάρχει αρκετός χώρος μεταξύ των πτερυγίων για να δημιουργηθεί μια σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του πτερυγίου και του περιβάλλοντος αέρα. Όταν τα πτερύγια στέκονται πολύ κοντά μεταξύ τους, ο αέρας στο μεταξύ μπορεί να γίνει σχεδόν η ίδια θερμοκρασία με τα πτερύγια, έτσι ώστε να μην πραγματοποιηθεί θερμική μετάδοση. Επομένως, περισσότερα πτερύγια δεν οδηγούν απαραίτητα σε καλύτερη απόδοση ψύξης.

Για μεταφορά θερμότητας μεταξύ πηγών LED άνω των 15 Watt και ψυγείων LED, συνιστάται η χρήση υλικού υψηλής θερμικής αγωγιμής διεπαφής (TIM) που θα δημιουργήσει θερμική αντίσταση στη διεπαφή χαμηλότερη από 0,2K / W Αυτή τη στιγμή, η πιο κοινή λύση είναι να χρησιμοποιήσετε ένα υλικό αλλαγής φάσης, το οποίο εφαρμόζεται με τη μορφή ενός στερεού στρώματος σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά μετά αλλάζει σε ένα παχύ, ζελατινώδες υγρό μόλις αυξηθεί πάνω από τους 45 ° C

Μικρή ιστορική αναδρομή της βιομηχανίας των πορθμείων στην Ευρώπη

Η κατασκευή του πρώτου πορθμείου χρονολογείται από το 1850 στη Σκωτία, όπου σχεδιάστηκε για να μεταφέρει βαγόνια μέσω του Firth of Forth στις αγορές του Εδιμβούργου και και γενικότερα στις νότιες περιοχές τις Σκωτίας. Αν και σχεδιάστηκε ως ένα τυπικό σκάφος, η ιδέα ήταν εξαιρετικά καινοτόμα, λόγω του ότι το συγκεκριμένο πλοίο έδινε τη δυνατότητα μεταφοράς αγαθών σε μεγάλες ποσότητες και με ελάχιστη εργασία. Αν και ορισμένα παραδείγματα «οχηματαγωγών» αναφέρονται στο πρώτο μισό του εικοστού αιώνα, ουσιαστικά, η βιομηχανία πορθμείων έκανε μόνο ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός κατά τα μεταπολεμικά χρόνια. Στα τέλη της δεκαετίας του '50, ο διεθνής τουρισμός επωφελήθηκε από τους ήπιους κανονισμούς για τα διαβατήρια, με αποτέλεσμα την αύξηση των ευκαιριών για διακοπές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την άνθιση της βιομηχανίας των πορθμείων, καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του '60 μέχρι την πετρελαϊκή κρίση που προκλήθηκε από τον πόλεμο του Γιομ Κιπούρ το 1973.

Το αυξημένο κόστος καυσίμων ανάγκασε τη βιομηχανία πορθμείων να αναζητήσει οικονομίες κλίμακας, έτσι δημιουργήθηκαν τα «jumbo ferries», τα οποία σχεδιάστηκαν για να μεταφέρουν μεγαλύτερους όγκους ανθρώπων και εμπορευμάτων, αλλά με μικρότερες καρίνες. Η δεκαετία του '90 σηματοδότησε μια άλλη χρυσή περίοδο για την εν λόγω βιομηχανία, όταν τα πορθμεία

έμοιαζαν περισσότερο με κρουαζιερόπλοια. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), η κατάργηση του αφορολόγητου καθεστώτος στα ενδοκοινοτικά ύδατα το 1994, η ολοκλήρωση των νέων σταθερών συνδέσεων μεταξύ της Ευρώπης και πιο πρόσφατα η οικονομική ύφεση, ανάγκασαν τον κλάδο των πορθμείων να επικεντρωθεί περισσότερο στις μεταφορικές δραστηριότητες, ιδιαίτερα αυτές των εμπορευματικών μεταφορών, παύοντας τις μη κερδοφόρες υπηρεσίες.

Η τάση στον σχεδιασμό των πλοίων δείχνει αύξηση του αριθμού των καταστροφμάτων για οχήματα (δηλαδή αυτοκίνητα, λεωφορεία και φορτηγά). Τα κρουαζιερόπλοια με πολλές καμπίνες δεν είναι πλέον περιζήτητα. Επί του παρόντος, ο κλάδος επικεντρώνεται στις λειτουργίες «Ro-Pax», οι οποίες ορίζονται συμβατικά ως «οχηματαγωγό που ταξιδεύει σε ανοιχτά νερά, παρέχει τακτικά δρομολόγια μεταξύ σταθερών λιμένων, φιλοξενεί περισσότερους από 12 επιβάτες, μεταφέρει αυτοκίνητα και εμπορικά οχήματα και έχει εκτόπισμα άνω των 1000 μικτών τόνων (GT). Το 2013, ο συνολικός αριθμός διαμετακομιστικών επιβατών στα λιμάνια της ΕΕ ήταν 400 εκατομμύρια, σύμφωνα με τις μετρήσεις του 2015. Σε αντίθεση με τον τομέα των εμπορευματικών μεταφορών, στον οποίο το 60% των εμπορευμάτων εκφορτώνεται και το 40% φορτώνεται, η διαφορά μεταξύ επιβατών που επιβιβάζονται και αποβιβάζονται στα λιμάνια της ΕΕ είναι μικρή. Οι επιβάτες πορθμείων της ΕΕ μεταφέρονται κυρίως με οχηματαγωγά εσωτερικά ή εντός της ΕΕ: περίπου το 58% των θαλάσσιων επιβατών μεταφέρονται μεταξύ λιμένων εντός της ίδιας χώρας (Eurostat, 2015).

Στην Ευρώπη, τα επιβατηγά πορθμεία είναι συγκεντρωμένα σε τρεις περιοχές οι οποίες δημιουργούν σημαντικό μερίδιο της παγκόσμιας κυκλοφορίας, δηλαδή τη Βαλτική, τη Βόρεια Θάλασσα και τη Μεσόγειο. Μεταξύ αυτών, η Μεσόγειος παρουσιάζει το υψηλότερο μερίδιο του όγκου των επιβατών (βλ. Εικόνα 2 παρακάτω), ενώ η περιοχή της Βαλτικής είναι η πρώτη περιοχή κατάταξης όσον αφορά τα οχήματα (δηλαδή αυτοκίνητα, λεωφορεία και ρυμουλκούμενα). Ο

στόλος της περιοχής της Μεσογείου υπερτερεί αριθμητικά από αυτόν των άλλων δύο περιοχών όσον αφορά τον αριθμό των πλοίων, GT, κλινών και χωρητικότητας οχημάτων. Από την άλλη πλευρά, ο στόλος είναι παλαιότερος: τα πλοία της Μεσογείου είναι κατά μέσο όρο ηλικίας 22 ετών (σύμφωνα με τον παγκόσμιο αριθμό), ενώ αυτά στη Βαλτική Θάλασσα και στη Βόρεια Θάλασσα είναι 16 και 14 ετών, αντίστοιχα.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, οι επιδόσεις του κλάδου των πορθμείων επηρεάστηκαν από την κατάργηση του καθεστώτος αφορολόγητων ειδών και τον ανταγωνισμό των αερομεταφορέων χαμηλού κόστους, ιδίως όσον αφορά τις στρατηγικές καθορισμού τιμών. Η εισαγωγή σταθερών συνδέσεων (όπως η σήραγγα της Μάγχης μεταξύ Ηνωμένου Βασιλείου και Γαλλίας ή η σύνδεση Øresund μεταξύ Δανίας και Σουηδίας) και η αύξηση τους κόστους των καυσίμων ήταν κάποιες σημαντικές προκλήσεις για τη βιομηχανία. Η οικονομική κρίση που έπληξε την περιοχή της Μεσογείου τη τελευταία δεκαετία μείωσε την δυνατότητα καθώς και τη διάθεση των ανθρώπων για ταξίδια. Τα στατιστικά στοιχεία των εγχώριων πλοίων που αφορούν την Ελλάδα δείχνουν τη σημαντικότητα αυτού του γεγονότος. Μεταξύ του 2008 και του 2013, ο αριθμός των επιβατών μειώθηκε κατά 9,98 εκατομμύρια (-22,6%) και τα αυτοκίνητα κατά 640 χιλιάδες (-30,4%). Πολλές από τις ναυτιλιακές εταιρίες της Ελλάδας που δραστηριοποιούνται στο χώρο τις μεταφοράς ανθρώπων (επιβατικά πλοία γραμμής/πορθμεία), τα τελευταία χρόνια κάνουν προσπάθεια εξοικονόμησης χρημάτων, χρησιμοποιώντας διάφορες τακτικές όπως παραδείγματος χάρη, μειώσεις τακτικών δρομολογίων (ιδίως κατά τη χειμερινή περίοδο) ή μείωση της κατανάλωσης.

Ο φωτισμός στα πορθμεία

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας κατανάλωσης ενέργειας σε ένα επιβατικό πλοίο, είναι αυτός του φωτισμού. Ειδικότερα στις περιπτώσεις μεταφοράς ανθρώπων, τότε οι απαιτήσεις πολλαπλασιάζονται με σκοπό να καλύψουν τις ανάγκες για φωτισμό σε διάφορα επίπεδα και κατηγορίες (κατάστρωμα, τουαλέτες, εστιατόρια, καμπίνες κλπ). Ο φωτισμός των χώρων επιβατών θα πρέπει να διευκολύνει την οπτική άνεση, να υποστηρίζει κατάλληλα τις δραστηριότητες των επιβατών και να βοηθά στη δημιουργία κατάλληλου οπτικού περιβάλλοντος. Ο σχεδιασμός φωτισμού περιλαμβάνει την ενσωμάτωση αυτών των πτυχών για την παροχή επαρκούς φωτισμού για την άνεση και την ευημερία των επιβατών αλλά και του προσωπικού,

καθώς και για τις διάφορες δραστηριότητες αναψυχής στις οποίες θα συμμετέχουν οι επιβάτες μέσα στο πλοίο της γραμμής. Η επιλογή των κατάλληλων επιπέδων φωτισμού για συγκεκριμένες εργασίες και χώρους επιβατών αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο σχεδιασμό συστημάτων του πλοίου και επομένως στην ενεργειακή κατανάλωση αυτού. Οι εργασίες ή οι δραστηριότητες που συναντώνται στα σκάφη ποικίλλουν και ο παρεχόμενος φωτισμός μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα όρασης και κατ' επέκτασης και εκτέλεσης αυτών. Μερικά ζητήματα όρασης και φωτισμού περιλαμβάνουν τη διάρκεια της εργασίας/δραστηριότητας, την οπτική κόπωση, τις αντανακλάσεις, τις σκιές και τις ικανότητες του παρατηρητή. Το γεγονός ότι ο φωτισμός του πλοίου διατηρεί τη σημασία του όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, την ανθρώπινη άνεση και την επαγγελματική ασφάλεια δε μπορεί να περάσει απαρατήρητο αναφορικά με τα ζητήματα οικονομικής ωφέλειας.

Γενικά, τα σκάφη φωτίζονται από ηλεκτρικούς λαμπτήρες και/ή φθορισμού που προέρχονται από γεννήτριες. Σήμερα, οι κοινές τεχνικές φωτισμού αντικαθίστανται από την τεχνολογία LED, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, οποία παρέχει φωτισμό μεγάλης διάρκειας και πιο αποτελεσματικό. Η τεχνολογία φωτισμού στα πλοία έχει εστιάσει στην τεχνολογία αυτή, καθώς η ναυτιλιακή βιομηχανία στοχεύει γενικά σε μεγαλύτερη απόδοση. Μια βιβλιογραφική ανασκόπηση αποκαλύπτει ότι ο αποτελεσματικός φωτισμός των πλοίων αποτέλεσε και ένα ζήτημα από τότε που εμφανίστηκε ο όρος «πράσινη ναυτιλία». Τα «πράσινα πλοία» που υποστηρίζονται από τεχνολογία φωτισμού LED μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας και απαιτούν λιγότερη ενέργεια για το ίδιο επίπεδο φωτισμού.

Ενεργειακή απόδοση των λαμπτήρων LED συγκριτικά με τους συμβατικούς λαμπτήρες , εφαρμογή σε επιβατηγό πλοίο.

Σαν μελέτη περίπτωσης θα εξεταστεί ένα πλοίο που πραγματοποιεί καθημερινά το δρομολόγιο Πειραιάς – Σούδα (Λιμάνι Χανίων). Το συγκεκριμένο πλοίο ναυπηγήθηκε το 1998 και τέθηκε υπό ελληνική ιδιοκτησία δέκα χρόνια αργότερα. Έχει μήκος 192 μέτρα, διαθέτει 9 καταστρώματα και η συνολική του πληρότητα σε επιβάτες και οχήματα είναι 1874 και 620 αντίστοιχα.

Σύμφωνα με το Electric Load Balance του πλοίου οι ανάγκες του για φωτισμό είναι οι εξής.

CONDITION						PEAK LOADS					
						24 HRS AT SEA		MANOEUVERING		AT PORT	
LIGHTING	Nominal Consumed		NO OF UNITS		CONN. LOAD	Fs	KW	Fs	KW	Fs	KW
	HP	KW	TOTAL	IN USE	KW						
MAIN LIGHTING 220 V					250	0.50	125.00	0.50	125.00	0.50	125.00
MAIN LIGHTING 100 V					50	0.50	25.00	0.50	25.00	0.50	25.00
EMERGENCY LIGHTING 220 V					50	0.50	25.00	0.50	25.00	0.50	25.00
EMERGENCY LIGHTING 100 V					30	0.50	15.00	0.50	15.00	0.50	15.00
UPS LIGHTING 220 V					30	0.50	15.00	0.50	15.00	0.50	15.00

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, το εν λόγω πλοίο για 24 ώρες στη θάλασσα, καταναλώνει:

$$\text{Συνολική Κατανάλωση} = 125+25+25+15+15 = 205\text{kW}$$

Δεδομένου πως το πλοίο πραγματοποιεί 2 ταξίδια την ημέρα διάρκειας 8 ωρών (Πειραιάς – Σούδα), τότε οι συνολικές ετήσιες ώρες ταξιδιού μπορούν να υπολογιστούν με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Συνολικές ώρες} = d \cdot R \cdot f \cdot h$$

Όπου:

- d: οι συνολικές μέρες ενός έτους δηλαδή 365
- R: ο αριθμός των ταξιδιών ανά ημέρα
- f: διορθωτικός παράγοντας για την καλύτερη εκτίμηση του αποτελέσματος
- h: οι συνολικές ώρες ενός ταξιδιού

Επομένως:

$$\text{Συνολικές ώρες} = 365 \cdot 2 \cdot 0.85 \cdot 8 = 4964h$$

Οι ανάγκες για φωτισμό καλύπτονται από τον κινητήρα Wartsila 9L20 με τα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά όσον αφορά τις καταναλώσεις σε καύσιμο:

Fuel System		
Fuel Consumption (100% Load)	g/kWh	191
Fuel Consumption (85% Load)	g/kWh	189
Fuel Consumption (75% Load)	g/kWh	190
Fuel Consumption (50% Load)	g/kWh	195

Έχοντας λοιπόν τα παρακάτω στοιχεία μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα καυσίμου που καταναλώνει σε ένα χρόνο το πλοίο.

Total kW	205	kW
Total Hours	4964	h
Fuel Consumption	191	g/kWh

Άρα:

Η συνολική κατανάλωση καύσιμο για ένα χρόνο θα προκύπτει από τα εξής: (Fuel Consumption)/((Total kW) · (Total Hours)) · 10⁻⁶ (tn)=(205/(4964 · 194))/(10⁻⁶) = 194 tn

Η εκτιμήσεις των ρύπων του πλοίου

Οι εκτιμήσεις των ρύπων του πλοίου, οι οποίες διαχέονται στην ατμόσφαιρα κατά τη λειτουργία του (κυρίως στα ταξίδια του), έχουν υπολογιστεί με βάση τις κατευθυντήριες γραμμές του πρωτοκόλλου Tier – III. Οι τιμές που είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό των εκπομπών είναι οι επιμέρους καταναλώσεις των μηχανών του πλοίου (κύρια και συμπληρωματική). Στη συγκριμένη μελέτη περίπτωσης η μηχανή που εξετάζεται είναι η συμπληρωματική - $EM_{auxiliary,p,m}$

$$= N \cdot t_i \cdot Lf_i \cdot P \cdot EF_{i,p,m,f} (g)$$

Όπου:

- i : Η φάση που βρίσκεται το πλοίο (εν πλω ή σταθμευμένο)
- N : Ο αριθμός των εν λειτουργία μηχανών κατά την εκάστοτε φάση
- t : Ο χρόνος λειτουργίας του πλοίου κατά την κάθε φάση
- Lf : Ο συντελεστής φόρτισης της μηχανής
- P : Η ισχύς της μηχανής
- EF : Ο συντελεστής εκπομπών των ρύπων ανάλογα με το πλοίο

Η παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν στοιχεία για τη κατανάλωση της μηχανής ή γενικότερα του πλοίου. Με βάση του ότι υπάρχουν τα δεδομένα για τον συντελεστή ισχύος των μηχανών σε οποιαδήποτε φάση του πλοίου (εν πλω, δεμένο), ο χρόνος αυτών και η ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς των μηχανών και το γεννητριών, μπορούν εύκολα να υπολογιστούν οι εκπομπές ρύπων. Οι ετήσιες εκπομπές ρύπων του πλοίου μέσα σε ένα έτος, λαμβάνοντας ως γνώμονα ότι αυτό πραγματοποιεί ταξίδια καθ' όλη τη διάρκεια του, υπολογίζονται με βάση αυτόν το τύπο:

$$EM_{annualp} = EM_{missionp} \cdot 365 \cdot 0.85 \cdot 10^{-6} (tn)$$

Για να υπολογιστούν οι ρύποι του πλοίου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (EEA) τα οποία αντλήθηκαν από μια μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε το 2019 και ενημερώθηκε το 2021. Με δεδομένο ότι το πλοίο χρησιμοποιεί καύσιμο MDO/MGO, για να υπολογιστούν οι εκπομπές ρύπων, θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί ένας συντελεστής μετατροπής που προτείνεται από τον IMO, ίσος με 3.206 tCO₂/tfuel

Engine	Phase	Engine type	Fuel type	CO ₂ [g/kW·h]	SO ₂ [g/kW·h]	NO _x [g/kWh·h]	PM [g/kWh·h]	SFOC (gfuel/kW·h)
Auxiliary	Cruise	High speed diesel	MDO/MGO	679.67	2.5	9.94	0.290	212

Συνεπώς οι ετήσιοι ρύποι του πλοίου εξαιτίας του φωτισμού μόνο μπορούν να εκτιμηθούν ως εξής:

Lighting	CO2	SO2	NO _x	PM	SFOC
Annual Emissions (tn)	592.091809	2.17786503	8.659191349	0.25263234	184.6829543

Εφόσον λοιπόν οι λαμπτήρες του πλοίου αντικατασταθούν με λαμπτήρες LED μπορούμε να πούμε με ασφάλεια πως έχουμε μια μείωση της κατανάλωσης έως και 30% δεδομένου ότι ήδη το πλοίο χρησιμοποιεί οικονομικούς λαμπτήρες τεχνολογίας CFL. Στην περίπτωση που υπάρχουν λαμπτήρες πυρακτώσεως η εξοικονόμηση σε ενέργεια ανέρχεται έως και 80%.

Συνεπώς μπορούμε να υπολογίσουμε τη διαφορά σε καύσιμο και ρύπους έχοντας στο πλοίο μόνο LED λαμπτήρες πολύ εύκολα αρκεί να εκτιμήσουμε πως το πλοίο εάν έχει οικονομικούς λαμπτήρες CFL οι ανάγκες για φωτισμό από 250kW μπορούν να γίνουν 190kW.

Επομένως τα καύσιμα που εξοικονομούμε είναι $194 - 194/(1.3) = 44.5$ tn

Αντιοίστοιχα τα καυσαέρια που κερδίζουμε για τα ταξίδια ενός χρόνου του πλοίου είναι τα εξής:

Lighting	CO2	SO2	NO _x	PM	SFOC
Annual Emissions Savings (tn)	136.6365714	0.502584237	1.998274927	0.058299772	42.61914331

Κόστη Λαμπτήρων LED

Με περίπου 5 έως 7 \$ ανά λάμπα, τα φώτα LED είναι αρχικά μεγαλύτερη επένδυση από τα αντίστοιχα πυρακτώσεως ή CFL - τα οποία κοστίζουν περίπου 2 έως 3 \$ ανά λάμπα. Αλλά, όταν λαμβάνεται υπόψη το κόστος ενέργειας, είναι καλύτερη αξία μακροπρόθεσμα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, οι οικιακές λάμπες LED καταναλώνουν τουλάχιστον 75% λιγότερη ενέργεια από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και διαρκούν έως και 25 φορές περισσότερο.

Δεδομένου ότι τα κόστη σε ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα ανεβαίνουν ραγδαία τον τελευταίο καιρό και θα συνεχίσουν να ανεβαίνουν, η χρήση λαμπτήρων LED είναι μονόδρομος.

Παράγοντες που επηρεάζουν την διάρκεια ζωής των LED

1. Τροφοδοτικό

Η λειτουργία λαμπτήρων πάνω από τη συνιστώμενη απαίτηση ισχύος μπορεί να μειώσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής τους. Οι λαμπτήρες LED απαιτούν αξιόπιστο τροφοδοτικό που βοηθά στη μεγιστοποίηση της ισχύος εξόδου και του προσδόκιμου ζωής και εξασφαλίζει τη βέλτιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που τελικά βοηθά στον έλεγχο και τη ρύθμιση της τάσης.

2. Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία της θέσης όπου είναι εγκατεστημένος ένας λαμπτήρας LED επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη διάρκεια ζωής ενός φωτιστικού LED. Τα κλειστά φωτιστικά μπορεί να παρουσιάσουν αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος που μπορεί να επηρεάσει το τσιπ και τον οδηγό. Αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του φωτιστικού.

3. Πυκνωτές και οδηγοί

Οι οδηγοί φωτιστικών LED χρησιμοποιούσαν πλαστικούς πυκνωτές για την αποθήκευση ενέργειας. Όταν χρησιμοποιούνται σε τακτική βάση, αυτοί οι πυκνωτές θα διαρκέσουν μόνο για ένα χρόνο. Οι πλαστικοί πυκνωτές επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από εξωτερικούς παράγοντες όπως η θερμότητα και η θερμοκρασία περιβάλλοντος και, ως εκ τούτου, παρουσιάζουν μικρότερη διάρκεια ζωής. Πλέον χρησιμοποιούνται κεραμικοί πυκνωτές στους οδηγούς LED καθώς διαθέτουν υψηλότερη ανοχή στη θερμότητα και εξασφαλίζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

4. Εκπομπή θερμότητας

Τα τσιπ και οι ψύκτρες στη λάμπα LED είναι ευαίσθητα στις υψηλές θερμοκρασίες. Εάν η θερμοκρασία ενός φωτιστικού LED ξεπεράσει τους 85°C, η διάρκεια ζωής του τελευταίου αναμένεται να μειωθεί. Έτσι, η θερμοκρασία των λαμπτήρων θα πρέπει να είναι χαμηλότερη από

την προαναφερθείσα θερμοκρασία. Αυτό είναι ευεργετικό όχι μόνο για την ψύκτρα αλλά και για τη διάρκεια ζωής του φωτιστικού.

Οικονομική μελέτη στην περίπτωση των λιμανιών (Flood Lights).

Επειδή τα λιμάνια διαφέρουν ανάλογα με τη λειτουργία που εξυπηρετούν μπορούμε να κάνουμε μια οικονομική μελέτη στους προβολείς που χρησιμοποιούν και κατα κύριο λόγο ευθύνονται για την ικανοποίηση των φωτιστικών αναγκών του. Έτσι κοιτώντας το παράδειγμα ενός προβολέα (Flood Light) τεχνολογίας LED σε σύγκριση με έναν τυπικό προβολέα αλογόνου μπορούμε να δούμε την εξοικονόμηση που μας προσφέρει η τεχνολογία LED.

Οι προβολείς αλογόνου ήταν η ενεργειακά αποδοτική εναλλακτική λύση στα φώτα πυρακτώσεως πριν από τα LED. Τα φώτα αλογόνου έχουν κάποια από τα δικά τους πλεονεκτήματα. Είναι άμεσα, πολύ φωτεινά και έχουν πολύ υψηλή χρωματική απόδοση. Το κύριο θέμα των λαμπτήρων αλογόνου είναι ο τρόπος που παράγουν θερμότητα. Είναι περίπου 2 φορές πιο ζεστοί από τους παραδοσιακούς λαμπτήρες πυρακτώσεως και μέσα σε μια κλειστή περιοχή μπορεί να είναι κίνδυνος πυρκαγιάς. Αυτό οφείλεται στη δομή τους, στο αέριο μέσα τους και στον τρόπο λειτουργίας τους. Ο σχεδιασμός τους τους επιτρέπει να παράγουν σταθερές φωτεινές δέσμες με υψηλό CRI, ωστόσο αυτό τους κάνει επίσης να είναι συνολικά πολύ λιγότερο αποδοτικοί σε σύγκριση με τα LED. Η απώλεια θερμότητας των LED είναι σημαντικά μικρότερη και η διάρκεια ζωής τους είναι πολύ μεγαλύτερη με πολύ μικρότερο κίνδυνο σε θέματα ασφάλειας.

Για φωτισμό μεγάλων χώρων όπως είναι αυτοί των λιμανιών απαιτούνται λαμπτήρες που να μπορούν να παράγουν μέχρι και 50.000 lumens όσον αφορά την φωτεινότητά τους. Στην περίπτωση που έχουμε ένα τυπικό λαμπτήρα αλογόνου θα χρειαζόταν **1500W** για να λειτουργήσει, αντίστοιχα υπάρχει η επιλογή LED με την ίδια φωτεινότητα και ανάγκες **400W**, αυτό σημαίνει πως μπορεί να γίνει **εξοικονόμηση έως και 375%** όσον αφορά την κατανάλωση.

Μπορεί η αρχική επένδυση να είναι πιο ακριβή καθώς οι LED λαμπτήρες κοστίζουν παραπάνω από τους τυπικούς αλογόνου ωστόσο οι διάρκειες ζωής τους φτάνουν στις 50.000 ώρες, αριθμός που είναι σχεδόν 5 φορές μεγαλύτερος από αυτή των λαμπτήρων αλογόνου.

Ένα παράδειγμα τέτοιου λαμπτήρα είναι απο την εταιρία Straits Lighting :



BROADCAST LED FLOODLIGHT
PID: SL923FLK



SPECIFICATIONS

- **Construction:** ADC12 Aluminum heat sink; Outdoor powder coating; LUMILEDS LED Chips; Driver: 100-277V or 277-480V; Surge protection 6KA;
- **Operating Temperature:** -40°F to 104°F (-40°C to 40°C)
- **Energy Data:** Power Factor >.90; THD <20%
- **Mounting:** Trunnion; Extruded arm; Slip fitter; Yoke
- **Certifications:** DLC Premium (100-277V); UL listed; IP65; LM79
- **Additional:** Photo sensor; Type 3 & 90 x 120 lens available
- **Rated Life:** 50,000 hours
- **Warranty:** 5 years

APPLICATIONS

MAJOR HIGHWAYS/FREEWAYS
INDUSTRIAL PARKING LOTS
OUTDOOR LIGHTING

PRODUCT DETAILS

Watts	Input	Kelvin ¹	Lumens ^{1,2}	Amps	Dimming	Beam Angle	CRI	Bug
400W	100-277V	40K, 50K	51,343	5.0	0-10V/ PWM/VR	120°	>70	B4-U0-G3
400W	277-480V		51,343	2.8				

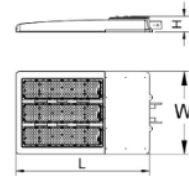
BOX DIMENSIONS

Watts	Length	Width	Height
400W	28"	19"	4.5"

PRODUCT DIMENSIONS

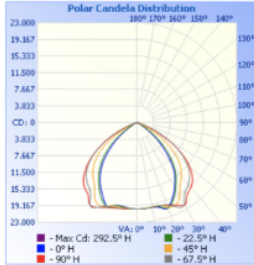
Watts	Length	Width	Height
400W	21.25"	14.6"	2.87"

MOUNTING OPTIONS



LM79 REPORT

POLAR CANDELA DISTRIBUTION



LM report based on results for 400W FLK fixture

Illuminance at a Distance

Center Beam fc	Beam width
1,247.2 fc	7.3 R 11.6 R
311.8 fc	14.7 R 23.3 R
138.6 fc	22.0 R 34.9 R
77.9 fc	29.4 R 46.6 R
49.9 fc	36.7 R 58.2 R

Vert. Spread: 85.1°
Horiz. Spread: 111.0°

Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	% Luminaire
0-30	17,101.6	34.3%
0-40	28,183.3	56.6%
0-60	46,292.7	93%
60-90	3,498.4	7%
70-100	713.5	1.4%
90-120	0	0%
0-90	49,791.1	100%
90-180	0	0%
0-180	49,791.1	100%

Lumens Per Zone

Zone	Lumens	% Total	Zone	Lumens	% Total
0-10	1,899.2	3.8%	90-100	0	0%
10-20	5,720.7	11.5%	100-110	0	0%
20-30	9,481.7	19.0%	110-120	0	0%
30-40	11,081.7	22.3%	120-130	0	0%
40-50	10,694.9	21.5%	130-140	0	0%
50-60	7,414.5	14.9%	140-150	0	0%
60-70	2,784.9	5.6%	150-160	0	0%
70-80	571.5	1.1%	160-170	0	0%
80-90	141.9	0.3%	170-180	0	0%

ORDER EXAMPLE:

SL923FLK — 400W — SU — 50K — C — 120 — D — O

PRODUCT ID WATTAGE: 400W SU=100-277V HV= 277-480V CCT: 40K=4000K 50K=5000K LENS C= CLEAR BEAM ANGLE 120° N= NON-DIMMING D= DIMMING YM = Yoke Mount TM = Trunnion Mount

Συμπεράσματα

Οι συμβατικές τεχνολογίες φωτισμού παραμένουν δημοφιλείς σε όλη τη βιομηχανία για διάφορους λόγους, συμπεριλαμβανομένων, ιδιαίτερα, του σχετικά χαμηλού κόστους εγκατάστασης σε σύγκριση με τις νεότερες τεχνολογίες και των πλεονεκτημάτων απόδοσης χρωμάτων σε ορισμένες εφαρμογές. Ωστόσο, ένας αυξανόμενος αριθμός χειριστών ανακαλύπτει τα λειτουργικά και περιβαλλοντικά οφέλη των νεότερων τεχνολογιών φωτισμού. Ενώ απαιτούν μεγαλύτερη αρχική επένδυση, οι νεότερες τεχνολογίες τείνουν να προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης και ανώτερη απόδοση σε σύγκριση με πολλές συμβατικές τεχνικές φωτισμού. Επιπλέον, οι νεότερες τεχνολογίες φωτισμού, όπως τα LED, συνεχίζουν να εξελίσσονται, υποδηλώνοντας ότι θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν περαιτέρω βελτιώσεις στην ασφάλεια, τη λειτουργική και περιβαλλοντική απόδοση με τέτοιες τεχνολογίες τα επόμενα χρόνια.

Οι νέες τεχνολογίες θα αυξήσουν επίσης την αντοχή των λαμπτήρων ως προς την απόδοση του υλικού, που απαιτείται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της θάλασσας, σε σύγκριση με το παραδοσιακό σύστημα φωτισμού των πλοίων. Σήμερα οι πλοιοκτήτες πρέπει να επενδύσουν στις νέες τεχνολογίες για να ανταποκρίνονται στους ναυτιλιακούς κανονισμούς. Η χρήση του φωτισμού LED στα πλοία θα συμβάλει στη βιωσιμότητα του ναυτιλιακού τομέα. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, της ρύπανσης του περιβάλλοντος και του λειτουργικού κόστους. Ο σημαντικός κίνδυνος των συστημάτων φωτισμού μπορεί επίσης να αποφευχθεί με τον φωτισμό LED λόγω των πιο αποδοτικών υλικών των λαμπτήρων LED.

Σε αυτή τη διπλωματική πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική ανάλυση των συστημάτων φωτισμού πλοίων και συγκεκριμένα επιβατικά πλοία γραμμής (μελέτη περίπτωσης επιβατικό πλοίο που πραγματοποιεί το δρομολόγιο Πειραιάς – Χανία, λαμβάνοντας υπόψη κυρίως την οικονομική και έπειτα την περιβαλλοντική και υλική απόδοση. Για την ανάλυση χρησιμοποιούνται τα πραγματικά δεδομένα του εν λόγω πλοίου. Αυτή η μελέτη δείχνει ότι οι ενεργειακά αποδοτικές πηγές φωτός παρέχουν αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πηγές φωτός των πλοίων. Το κόστος φωτισμού μπορεί να μειωθούν κατά περίπου από 30% έως και 80% του υπάρχοντος συστήματος. Λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους οι λαμπτήρες LED συμβάλουν αρκετά στην εξοικονόμηση χρημάτων για την αντικατάστασή τους παρά το αρχικό μεγαλύτερο κόστος αγοράς τους σε σύγκριση με τους συμβατικούς λαμπτήρες πυρακτώσεως και τους λαμπτήρες αλογόνου.

Η ενεργειακή απόδοση είναι ένα ζήτημα το οποίο αποτελεί μια τάση της εποχής. Μια διεύρυνση αυτής της μελέτης θα μπορούσε να στοχεύσει στα πρότυπα φωτισμού τα οποία θα μπορούσαν να επεκταθούν δημιουργώντας ένα σχέδιο φωτισμού για ένα πλοίο, κατασκευάζοντας φωτιστικά που είναι βελτιστοποιημένα αποκλειστικά για χώρους πλοίων. Επιπλέον αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν περαιτέρω μελέτες όπως μια εκτεταμένη μελέτη εφαρμογής για πραγματικό λιμάνι, κτεταμένη μελέτη σε πλοίο ειδικού ενδιαφέροντος (π.χ. κρουαζιερόπλοιο) με πολλά φωτιστικά σώματα όπως και να γίνει πειραματική επαλήθευση κάποιων παραμέτρων (π.χ. THD, pf κλπ) σε φωτιστικά σώματα εμπορίου.

Βιβλιογραφία

Abdurohman, M., Nugraha, R., & Putrada, A. G. (2020, November). An improvement of led lighting system accuracy with voltage control system. In 2020 Fifth International Conference on Informatics and Computing (ICIC) (pp. 1-5). IEEE.

Adrian, D. K., Pusey, H. C., Jensen, G. A., & Traub, R. J. (1988). Radioluminescent emergency egress lighting for US Navy surface ships (No. PNL-6774). Pacific Northwest Lab., Richland, WA (USA).

Ahmadi, H., Rafiei, M., Igder, M. A., Gheisarnejad, M., & Khooban, M. H. (2021). An energy efficient solution for fuel cell heat recovery in zero-emission ferry boats: deep deterministic policy gradient. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70(8), 7571-7581.

Ajenikoko, G. A., & Ojerinde, A. I. (2015). Effects of total harmonic distortion on power system equipment. *Innovative Systems Design and Engineering*, 6(5), 114-120.

Akyurek, E. (2018). Lighting Standards for Ships and Energy Efficiency. In *Trends and Challenges in Maritime Energy Management* (pp. 169-182). Springer, Cham.

American Bureau of Shipping (2015). *GUIDE FOR PASSENGER COMFORT ON SHIPS*. Houston,: American Bureau of Shipping.

Baumgartner, H., Renoux, D., Kärhä, P., Poikonen, T., Pulli, T., & Ikonen, E. (2016). Natural and accelerated ageing of LED lamps. *Lighting Research & Technology*, 48(8), 930-942.

Byun, J., Hong, I., Lee, B., & Park, S. (2013). Intelligent household LED lighting system considering energy efficiency and user satisfaction. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 59(1), 70-76.

Cizek, C. (2009). Shipboard LED lighting: A business case analysis. Naval Postgraduate School Monterey Ca.

Danny, F., & Shariman, M. (2013). The Utilization of Solar Cell for Power Lighting Equipment on the Ferry.

Faturachman, D., Yandri, E., Pujiastuti, E. T., Anne, O., Setyobudi, R. H., Yani, Y., ... & Wahono, S. K. (2021). Techno-Economic analysis of photovoltaic utilization for lighting and cooling system of ferry Ro/Ro ship 500 GT. In E3S Web of Conferences (Vol. 226, p. 00012). EDP Sciences.

Franceschini, (2013) S. Understanding LED technology as a lighting opportunity. A cognitive perspective on the efficiency dynamics in the US LED market. DRUID Academy.

Galave, S. G., Dadas, S. D., Bandgar, S. N., & Mangate, S. D. (2018, May). Power quality analysis & characterization of different types of lamp used for domestic and industrial purpose. In 2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI) (pp. 1501-1506). IEEE.

Gnanavadivel, J., Kumar, N. S., Christa, S. T., & Muralidharan, S. (2019). Design and implementation of FPGA-based high power LED lighting system for ships.

Hao, J., Sun, Q., Xu, Z., Jing, L., Wang, Y., & Ke, H. L. (2016). The design of two-step-down aging test for LED lamps under temperature stress. IEEE Transactions on Electron Devices, 63(3), 1148-1153.

Hoehner, P. A. (2019). Visible light communications: theoretical and practical foundations. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

Iris, Ç., & Lam, J. S. L. (2019). A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 170-182.

Kizielewicz, J. (2021). Eco-Trends in Energy Solutions on Cruise Ships. *Energies*, 14(13), 3746.

Lopez-Martin, V. M., Azcondo, F. J., & Pigazo, A. (2018). Power quality enhancement in residential smart grids through power factor correction stages. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 65(11), 8553-8564.

Naicker, R., & Allopi, D. (2016). Lighting up the future of ports with LED: other engineering. *Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese*, 2016(2), 65-66.

Orbaneja, J. M., Álvarez, A., López-Beceiro, J., Artiaga, R., & Álvarez, B. (2015). Analysis of LED lighting for a service ship. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(13), 675-679.

PEMA – Port Equipment Manufacturers Association (n.d.) (2015). *Lighting Technologies in Ports and Terminals A PEMA Information Paper*. Brussels: PEMA – Port Equipment Manufacturers Association.

Qiu, Y., Yuan, C., Sun, Y., & Tang, X. (2018). Power quality analysis for ship-photovoltaic power system: a case study. *Electric Power Components and Systems*, 46(11-12), 1375-1386.

Simanjuntak, R., Dupuis, P., Canale, L., Sinisuka, N. I., & Zissis, G. (2014, October). Power quality of energy saving lamps under wide voltage variations. In *2014 IEEE Industry Application Society Annual Meeting* (pp. 1-7). IEEE.

Wang, H., Oguz, E., Jeong, B., & Zhou, P. (2018). Life cycle cost and environmental impact analysis of ship hull maintenance strategies for a short route hybrid ferry. *Ocean Engineering*, 161, 20-28.

Watson, J., Loudon, M., & Fernandez, J. (2014). Green ports Lighting Photovoltaics.

Yao, S., Cao, G., Zhan, Z., Cao, Q., Fu, H., & Dong, W. (2022). Construction of Low-Carbon Ferry—A Case of Jingning, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6451.

Yiğit, K., Kökkülünk, G., & Savaş, Ö. (2018). Comparative Analysis of Ship Lighting Systems in Terms of Economic, Environmental and Material Performance. *Acta Physica Polonica A*, 134(1).

Zalesińska, M., & Wandachowicz, K. (2015). Working conditions for the low location lighting system on passenger ships. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, (43 (115)), 125-130.

Zhang, X., Bian, Z., Yuan, X., Chen, X., & Lu, C. (2020). A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. *Trends in food science & technology*, 99, 203-216.