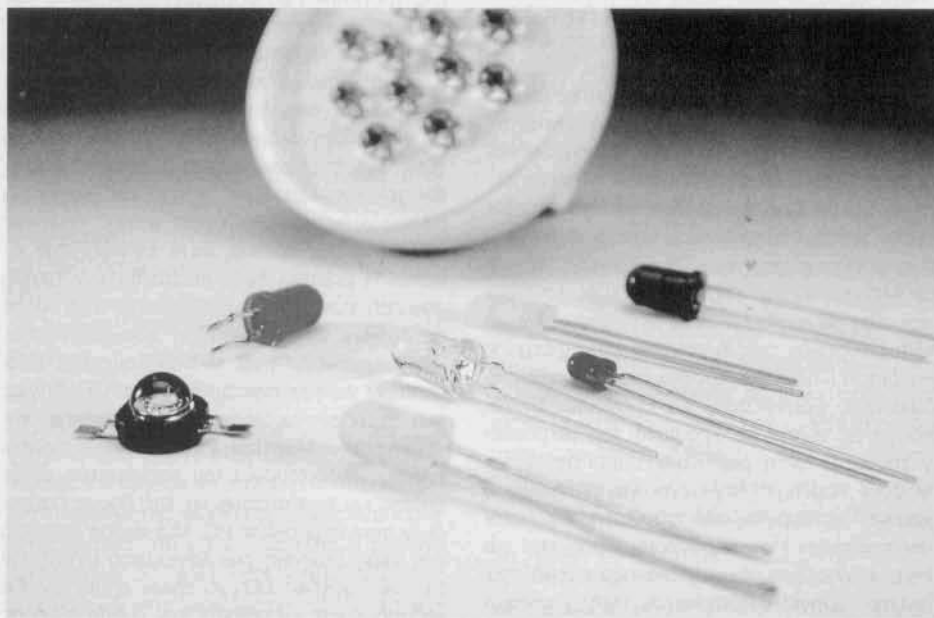


# Περισσότερο φως!

## Με LED υψηλής ισχύος

Του Καθηγητή M. Obmann

Η τεχνολογία των LED έχει παρουσιάσει σημαντικές εξελίξεις τα τελευταία χρόνια, τόσο, που τα βλέπουμε όλο και περισσότερο να αντικαθιστούν τους παραδοσιακούς λαμπτήρες πυρακτώσεως οι οποίοι χρησιμοποιούνταν μέχρι πρόσφατα στις διάφορες εφαρμογές. Είναι βέβαια γεγονός ότι τα LED παρουσιάζουν πολλή και σημαντικά πλεονεκτήματα μεταξύ των οποίων και η εξαιρετική τους αξιοπιστία, η οποία και σε πολλές περιπτώσεις αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή τους.



Εδώ και μερικά χρόνια, η τεχνολογία των LED έχει πραγματικά κάνει άλματα, ενώ πρόσφατα διετέθησαν στην αγορά και ορισμένες από τις πλέον κορυφαίες μονάδες. Η εταιρεία Conrad Electronics η οποία προμηθεύει εξαρτήματα ([www.int.conradcom.de](http://www.int.conradcom.de)), είχε την καλοσύνη να μας διαθέσει μερικά δείγματα τα οποία και χρησιμοποιήσαμε για την συγγραφή του παρόντος άρθρου.

Ένας ηλεκτρονικός δεν έχει απαραίτητα γνώσεις ειδικού στα θέματα του φωτισμού, και για τον λόγο αυτό θα προσπαθήσουμε στην συνέχεια του άρθρου να καλύψουμε οποιαδήποτε κενά μπορεί να υπάρχουν σε τεχνικό επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα θα μελετήσουμε και μερικά απλά κυκλώματα οδήγησης ενός LED υψηλής ισχύος 1 Watt.

### Lumen ή watt;

Στον χώρο των ηλεκτρονικών έχουμε συνηθίσει να χρησιμοποιούμε σαν μονάδα μέτρησης της ισχύος το Watt. Οι πομποί για παράδειγμα ή τα λέιζερ υπερύθρων, δηλώνουν πάντα την ισχύ εξόδου τους σε Watt. Η αντίστοιχη ισχύς μίας πηγής φωτός εκφράζεται σε lumen, όπου το lumen (lm) είναι μία φωτομετρική μονάδα η οποία εκφράζει την φωτεινή ροή που πηγάζει από μία φωτεινή πηγή. Ο όρος 'φωτομετρική' υποδηλώνει ότι λαμβάνεται υπ' όψη και η φασματική απόκριση του ανθρώπινου ματιού, έτσι ώστε να δίδεται μία ένδειξη του με πόσο φωτεινότητα

γίνεται αντιληπτή η συγκεκριμένη πηγή. Στο Σχήμα 1 περιγράφεται η (προσαρμοσμένη σε φως ημέρας) σχετική φασματική φωτεινή από-

δοση των διαφόρων μηκών κύματος φωτός, αναφορικά με το ερέθισμα που προκαλείται στον ανθρώπινο οφθαλμό (γνωστή και σαν καμπύλη V-λάμδα). Το ανθρώπινο μάτι είναι περισσότερο ευαίσθητο στην φωτεινή ακτινοβολία με μήκος κύματος στην περιοχή των 555 nm (όπου και έχουμε στην καμπύλη σχετική απόδοση ίση με την μονάδα). Μία μονοχρωματική πηγή φωτός η οποία εκπέμπει στην συγκεκριμένη συχνότητα και με ακτινοβολούμενη ροή 1 Watt είναι ισοδύναμη με 683 lumen. Εάν λοιπόν διατηρήσουμε σταθερή την ισχύ εκπομπής αλλά μεταβάλλουμε την συχνότητα στα 650 nm (κόκκινη ακτινοβολία) τότε η εκπομπή σε lumen θα είναι:  $683 \times 0,107 = 73 \text{ Lumen}$ , διότι στην συγκεκριμένη συχνότητα η σχετική απόδοση πέφτει στο 0,107.

Οι πηγές υπέρυθρης ή υπεριώδους ακτινοβολίας, εκπέμπουν την ενέργεια τους σε συχνότητες οι οποίες βρίσκονται εκτός της καμπύλης απόκρισης του ανθρώπινου ματιού, με αποτέλεσμα οι αντίστοιχες τιμές σε lumen να είναι μηδενικές. Η μετρούμενη φωτεινή ροή αφορά το σύνολο του φωτός που εκπέμπεται από την πηγή, ανεξάρτητα της κατεύθυνσης εκπομπής.

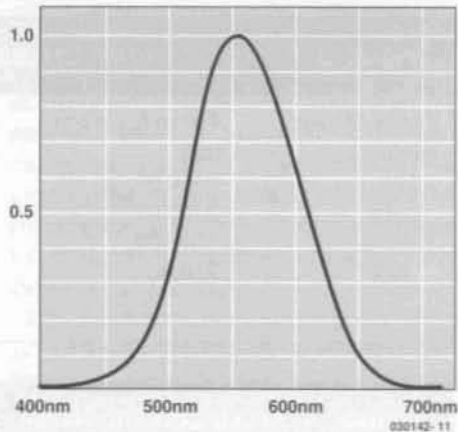
Και οι απλοί λαμπτήρες όμως, ταξινομούνται ανάλογα με την φωτεινή τους απόδοση ή επίδοση. Η συγκεκριμένη παράμετρος υποδηλώνει το ποσό της φωτεινότητας που παράγεται σε σχέση με την ενέργεια που καταναλώνεται και εκφράζεται σε Lumen ανά Watt (lm/W). Ο συγκεκριμένος υπολογισμός λαμβάνει πάντοτε υπ' όψη την ισχύ που καταναλώνεται από το σύνολο της μονάδας φωτισμού, συμπεριλαμβανομένων και των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων κ.λ.π. που είναι απαραίτητα για την λειτουργία ορισμένων τύπων

λαμπτήρων.

Στον Πίνακα 1 έχουμε μία σύγκριση μεταξύ μερικών από τους πλέον διαδεδομένους λαμπτήρες. Είναι πραγματικά ενδιαφέρον να παρατηρήσει κανείς το πόσο πολύ μεταβάλλονται τα διάφορα μεγέθη, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τον κάθε τύπο λαμπτήρα. Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, είναι κορυφαίοι όσον αφορά την απόδοση και το χαρακτηριστικό κιτρινωπό τους χρώμα το συναντάμε συχνά σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας. Οι αποδόσεις των λαμπτήρων λευκού φωτός είναι πάντοτε μικρότερες, διότι η αναλυσόμενη ενέργεια κατανέμεται επάνω σε ολόκληρο το ορατό φάσμα.

σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση. Μία φωτεινή πηγή 1 cd εκπέμπει 1 lm ανά στερεακτίνο, προς όλες τις κατευθύνσεις. Το στερεακτίνο ορίζεται ως η στερεά γωνία, η κορυφή της οποίας βρίσκεται στο κέντρο μίας σφαίρας (το οποίο κέντρο είναι η φωτεινή πηγή), οπότε 1 στερεακτίνο έχει σε απόσταση 1 m επιφάνεια προβολής 1 m<sup>2</sup>. Σύμφωνα λοιπόν με τα προηγούμενα: Φωτεινή Ένταση = Φωτεινή Ροή ανά στερεακτίνο.

Η παράμετρος της φωτεινής έντασης δίνεται συνήθως για κατευθυντικές πηγές φωτός, όπως για παράδειγμα είναι οι λαμπτήρες αλογόνου με εσωτερικούς ανακλαστήρες καθώς επίσης και πολλά LED. Μαζί με την συγκεκριμένη παράμετρο αναφέρεται συνή-



Σχήμα 1. Η καμπύλη V-λάμδα

## Πίνακας 1. χαρακτηριστικά συνηθισμένων φωτεινών πηγών

Φωτεινή πηγή	Ηλεκτρική ενέργεια(Watt)	Φωτεινή ροή(Lumen)	Φωτεινή ισχύς(Candela)	Απόδοση(lm/W)
Λαμπτήρας πυρακτώσεως	75	900	-	12
Λαμπτήρας φθορισμού	58	5400	-	90
Χαμηλής πίεσης νατρίου	130	26000	-	200
Υψηλής πίεσης Hg	1000	58000	-	58
Αλογόνου 12 Volt	65	1700	-	26
Αλογόνου με ανακλαστήρα δέσμης 10°	50	-	12500	-
Αλογόνου με ανακλαστήρα δέσμης 60°	50	-	1100	-
LUXEON LED	1	18	-	18
NICHIA LED δέσμη 20°	0,08	-	6,4	-

## Η Candela

Εάν μελετήσουμε οποιοδήποτε φυλλάδιο δεδομένων από LED, σίγουρα θα πέσουμε επάνω στον όρο Candela (cd) αντί της φωτεινής ροής, στην περίπτωση που μελετάμε την φωτεινή απόδοση της μονάδας. Η candela αποτελεί μονάδα προσδιορισμού της φωτεινής έντασης μίας μικρής φωτεινής πηγής

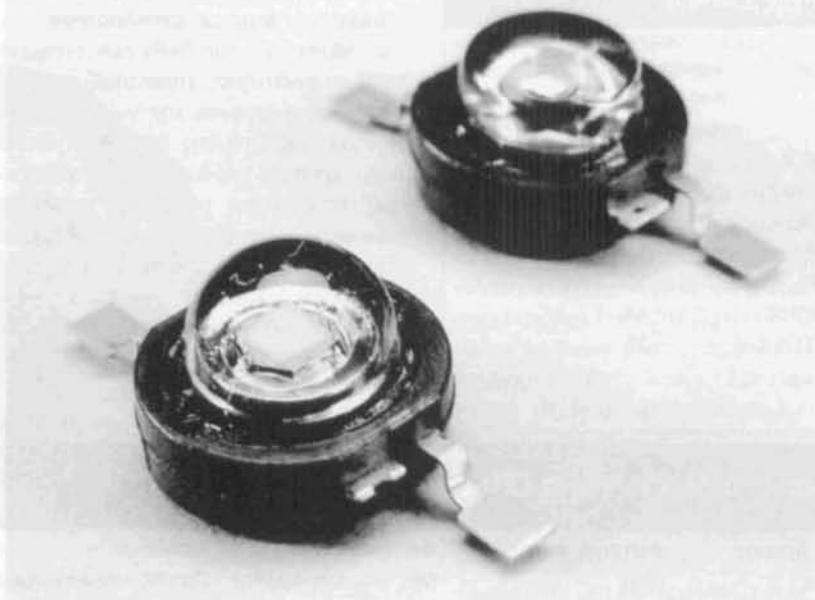
θως και η γωνία της δέσμης, όπου τα όρια της δέσμης καθορίζονται από το σημείο όπου η φωτεινή ένταση πέφτει στο μισό της μέγιστης τιμής. Οι ακτίνες λέιζερ παρουσιάζουν συνήθως εξαιρετικά μεγάλη φωτεινή ένταση, διότι η γωνία της δέσμης είναι πολύ μικρή.

Στον Πίνακα 2 περιγράφεται η ισοδυναμία μεταξύ της γωνίας δέσμης σε μοίρες και της αντίστοιχης στερεάς γωνίας ή στερεακτινίου.

Σε πολλές περιπτώσεις είναι πολύ δύσκολο να γίνει μία απλή σύγκριση μεταξύ διαφορετικών πηγών φωτός, ειδικά όταν από την

## Πίνακας 2. Αντιστοιχία γωνίας δέσμης προς στερεά γωνία

Γωνία δέσμης (μοίρες)	Στερεά γωνία (στερεακτίνα)
360,0	12.566 (4*π)
180,0	6.283 (2*π)
60,0	842
40,0	379
38,0	342
35,0	291
30,0	214
25,0	149
24,0	137
20,0	95
15,0	54
10,0	24



Σχήμα 2. Διάφορα LED 1 W της Luxeon.

**Πίνακας 3. Λαμπτήρες Osram Decostar με ανακλαστήρα**

Γωνία δέσμης (μοίρες)	Φωτεινή ένταση (cd)	Φωτεινή ροή (lm, υπολογισμένη)	Απόδοση (lm/W, υπολογισμένη)
10,0	9100,00	217,576	6,22
24,0	3100,00	425,638	12,16
38,0	1500,00	513,475	14,67
60,0	700,00	589,251	16,84

**Πίνακας 4. Λευκά LED της Nichia**

Γωνία δέσμης (μοίρες)	Φωτεινή ένταση (cd)	Φωτεινή ροή (lm, υπολογισμένη)	Απόδοση (lm/W, υπολογισμένη)
20,0	6,40	0,611	7,64
50,0	1,80	1,060	13,25
70,0	0,48	0,545	6,82

μία παρατίθεται η φωτεινή ένταση και από την άλλη η φωτεινή ροή, ενώ πρέπει να λάβουμε υπ' όψη και την φασματική κατανομή του εκπνευόμενου φωτός.

Τώρα όμως το παρακάναμε με την θεωρία και του ορισμούς, και είναι ώρα να δώσουμε ορισμένα παραδείγματα τα οποία θα μας βοηθήσουν να εμπεδώσουμε την ορολογία.

**Παράδειγμα 1: Κυκλικός λαμπτήρας**

Ο συγκεκριμένος λαμπτήρας καταναλώνει 3 W ηλεκτρικής ισχύος και αποδίδει φωτεινή ροή της τάξης των 30 περίπου lm. Με φωτεινή απόδοση περίπου 10 lm/W στην περίπτωση που χρησιμοποιείται σαν ιστροπική φω-

τεινή πηγή (γωνία θέασης 360° ή 4 π στερεοκτίνια) η φωτεινή ένταση είναι περίπου 2,4 Candela. Στην περίπτωση που περιλαμβάνει και εσωτερικό ανακλαστήρα, η φωτεινή ένταση στο κέντρο της δέσμης φτάνει τα 250 candela!

**Παράδειγμα 2: Λαμπτήρας αλογόνου χαμηλής τάσης**

Ένας λαμπτήρας Halostar της Osram (ιστροπική πηγή, χωρίς ανακλαστήρα, τύπου 64432 IRC) καταναλώνει 35 Watt ηλεκτρικής ισχύος παράγοντας μία φωτεινή ροή 900 Lumen. Ο συγκεκριμένος λαμπτήρας επιτυγχάνει απόδοση 26 lm/W, τιμή η οποία είναι σχετικά καλή για λαμπτήρα αλογόνου.

**Παράδειγμα 3: Λαμπτήρας αλογόνου χαμηλής τάσης με ανακλαστήρα**

Οι λαμπτήρες που διαθέτουν ενσωματωμένους ανακλαστήρες χαρακτηρίζονται από το παρεχόμενο φως και την γωνία της δέσμης. Η γωνία μάλιστα της δέσμης αποτελεί μία πολύ χρήσιμη παράμετρο για τον υπολογισμό της διάχυσης του φωτός σε εφαρμογές σημειακού φωτισμού. Πολλοί κατασκευαστές παράγουν μονάδες φωτισμού οι οποίες χρησιμοποιούν λαμπτήρες της ίδιας ισχύος τοποθετημένους σε ανακλαστήρες με διαφορετικές γωνίες δέσμης. Στον Πίνακα 3 περιγράφονται οι προδιαγραφές της μονάδας Decostar 51 της Osram (διάμετρος ανακλαστήρα

51 mm), ενός λαμπτήρα 35 Watt στα 12 V.

Στον Πίνακα 3 δίνεται η φωτεινή ροή και η απόδοση του λαμπτήρα σε τέσσερις διαφορετικές γωνίες δέσμης. Σε κάθε περίπτωση φωτεινή πηγή είναι η ίδια αλλά απ' ότι φαίνεται από τον Πίνακα, όσο μικρότερη η γωνία της δέσμης τόσο μικρότερη και η απόδοση του λαμπτήρα. Γενικά, είναι δύσκολο να σχεδιάσει κανείς ένα αποδοτικό ανακλαστήρα ο οποίος να παράγει μία στενή και ευθυγραμμισμένη δέσμη. Για να μπορεί πάντως να γίνει μία ουσιαστική σύγκριση μεταξύ λαμπτήρων με ανακλαστήρα από διαφορετικούς κατασκευαστές, θα πρέπει απαραίτητα να γνωρίζουμε τόσο την γωνία της δέσμης όσο και την φωτεινή ένταση.

**Παράδειγμα 4: LED Nichia**

Για την ώρα που γράφεται το παρόν άρθρο, η Ιαπωνική εταιρεία Nichia παράγει τα καλύτερα LED λευκού φωτός που υπάρχουν στην αγορά. Στον Πίνακα 4 αναφέρονται τα δεδομένα για ορισμένα από τα LED αυτά (το κάθε ένα έχει διάμετρο 5 mm και λειτουργεί στα 20 mA με τάση ορθής πόλωσης 5 περίπου V). Και στην συγκεκριμένη περίπτωση δίνονται οι τιμές φωτεινής ροής και έντασης.

Οι τιμές της φωτεινής έντασης είναι πολύ χαμηλές συγκρινόμενες με αυτές των λαμπτήρων αλογόνου αλλά παράλληλα εξασφαλίζουν πολύ χαμηλή κατανάλωση ισχύος (20 mA x 4 V = 80 mW), οπότε κατά τον υπολογισμό της απόδοσης τα συγκεκριμένα LED παρουσιάζονται συγκρίσιμα με τις μονάδες αλογόνου.

**Παράδειγμα 5: LED Luxeon**

Η εταιρεία Luxeon παρουσίασε πρόσφατα την σειρά των LumiLED (Σχήμα 3). Οι συγκεκριμένες συσκευές αναλώνουν 1 Watt ηλεκτρικής ισχύος (330 mA στα 3,4 V για ένα λευκό LED). Οι τιμές που αναφέρονται στον Πίνακα 5 ισχύουν για την έκδοση του LED με 'λαμπερτιανή' (lambertian) εικόνα διάχυσης.

Η εκδοχή με το λευκό φως παρουσιάζει καλύτερη απόδοση σε σχέση με όλους τους λαμπτήρες αλογόνου Decostar, ενώ ακόμη και οι χρωματιστές εκδόσεις επιτυγχάνουν εξαιρετικές στάθμες εξόδου. Η έκδοση Royal Blue εκπέμπει μία ακτινοβολία με μήκος κύματος 450 nm και το μάτι είναι τόσο ευαίσθητο στην ακτινοβολία αυτή που η φωτεινή ροή δίνεται σε milliwatt. Η συγκεκριμένη παράμετρος αποτελεί και μία ένδειξη της απόδοσης του LED: το 10 % της ηλεκτρικής ισχύος του 1 watt μετατρέπεται σε ορατό φως (Σχήμα 4).

**Παράδειγμα 6: LED σημειακού φωτισμού 50 mm στα 12 V.**

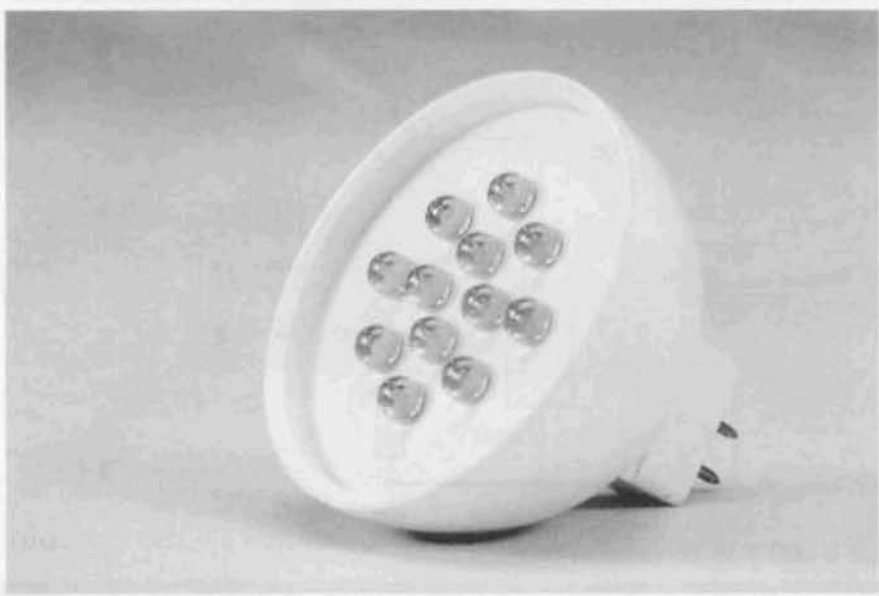
Η εταιρεία Signal-Construct παράγει σημειακά φωτιστικά με LED (που διατίθενται από την

**Πίνακας 5. Φωτεινή ροή για τα LED της Luxeon**

Χρώμα	Τυπική φωτεινή ροή (lm)
ΛΕΥΚΟ	18
ΠΡΑΣΙΝΟ	25
ΚΥΑΝΟ	30
ΜΠΛΕ	5
ROYAL ΜΠΛΕ	100 mW
ΚΟΚΚΙΝΟ	44
ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	36

**Πίνακας 6. Δεδομένα για τα LED σημειακού φωτισμού στα 12 V**

Γωνία δέσμης (μοίρες)	Φωτεινή ένταση (cd)	Φωτεινή ροή (lm, υπολογισμένη)	Απόδοση (lm/W, υπολογισμένη)
50,0	30	17,7	14,7



Σχήμα 3. LED σημειακού φωτισμού στα 12 V

Conrad Electronics) τα οποία είναι δυνατόν να τροφοδοτηθούν απ' ευθείας από ένα τυπικό μετασχηματιστή 12 V, από αυτούς που χρησιμοποιούνται για τα φωτιστικά αλογόνου χαμηλής τάσης. Η κατανάλωση ισχύος είναι 1,2 W και στο φυλλάδιο δεδομένων αναφέρεται ότι οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες έχουν δέσμη φωτός με γωνία 50° και φωτεινή ένταση 30 cd.

Η απόδοση των εν λόγω λαμπτήρων συγκρίνεται με αυτή των τυπικών LED (π.χ. με τα LED των 50 " της Nichia). Το κάθε σημειακό φωτιστικό περιλαμβάνει 12 LED. Εάν θεωρήσουμε ότι σε κάθε LED έχουμε ένα ρεύμα 20 mA στα 4 V, η συνολική αναλυσκόμενη από τα LED ισχύς είναι 0,96 W. Η διαφορά στην ισχύ ( $1,2 \text{ W} - 0,96 \text{ W} = 0,24 \text{ W}$ ) μάλλον αναλώνεται στους ανορθωτές και το κύκλω-

μα περιορισμού του ρεύματος.

### Είναι πράγματι τα LED τόσο ψυχρά;

Συχνά ακούμε ή διαβάζουμε ότι τα LED δεν αναλώνουν ενέργεια με την μορφή θερμότητας, οπότε θα πρέπει να είναι πολύ αποδοτικότερα σε σχέση με του λαμπτήρες αλογόνου για παράδειγμα. Με μία προσεκτικότερη όμως μελέτη του Πίνακα 1 θα δούμε ότι η φωτεινή απόδοση τόσο των LED όσο και των λαμπτήρων αλογόνου είναι ιδιαίτερα φτωχή και μόνον ένα μέρος της αναλυσκόμενης ενέργειας μετατρέπεται σε φως. Τι γίνεται λοιπόν όλη η υπόλοιπη ενέργεια; Ένας συμβατικός λαμπτήρας πυρακτώσεως αποτελείται από θερμαινόμενο νήμα σφραγισμένο μέσα σε ένα γυάλινο περίβλημα. Το ρεύμα που διέρχεται

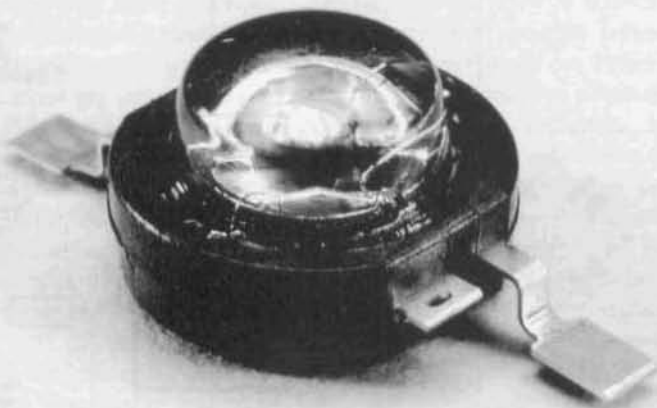
μέσα από το νήμα προκαλεί πυράκτωση και θερμική φωτοβολία στους 1000 °K περίπου, οπότε ένα μέρος της ενέργειας εκπέμπεται με την μορφή υπέρυθρων (η εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας συντελεί στο να διατηρείται σχετικά χαμηλά η θερμοκρασία του λαμπτήρα). Μέρος της θερμότητας απάγεται επίσης (μέσω μεταφοράς) από το νήμα προς το γυαλί που το περιβάλλει καθώς και προς το σώμα του λαμπτήρα.

Στην περίπτωση των LED όπου δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα της 'ακτινικής ψύξης', πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι ο ημιαγωγός δεν πρόκειται να ανεβάσει θερμοκρασία μεγαλύτερη από 120 °C διαφορετικά θα καεί. Το φαινόμενο της ακτινικής ψύξης είναι πολύ μικρό και το ποσό της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι και αυτό περιορισμένο. Στα LED λοιπόν υψηλής ισχύος είναι απαραίτητη η απαγωγή της αναλυσκόμενης ενέργειας είτε μέσω ακτινοβολίας IR αλλά κυρίως μέσω μεταφοράς τοποθετώντας ψύκτες με κατάλληλη επιφάνεια οι οποίοι θα μεταφέρουν την θερμότητα στον περιβάλλοντα αέρα. Με την σημερινή τεχνολογία, εάν κάποιος αποφασίσει να κατασκευάσει ένα LED με φωτεινή ισχύ ισοδύναμη ενός λαμπτήρα αλογόνου 35 W, το μεγαλύτερο του πρόβλημα θα είναι η ψύξη της συσκευής.

Για αυτόν ακριβώς τον λόγο τα LED της Luxon για παράδειγμα διατίθενται σε συσκευασίες οι οποίες επιτρέπουν την προσάρτηση ενός ψύκτη. Κατά τον υπολογισμό των θερμικών χαρακτηριστικών του ψύκτη, καλό είναι να κάνουμε την παραδοχή ότι το σύνολο της παρεχόμενης στο LED ενέργειας θα μετατραπεί σε θερμότητα. Το μικρό ποσοστό της ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία φωτός μπορεί πραγματικά να αγνοηθεί. Από 'ηλεκτρική' μάλιστα πλευρά (οπτική ισχύς προς ηλεκτρική ισχύ), ακόμη και τα πλέον σύγχρονα LED, εξακολουθούν να παρουσιάζουν πολύ μικρή απόδοση.

### Τα LED της Luxeon

Μέχρι την ώρα που γραφόταν το παρόν άρθρο, κορυφαία από πλευράς διαχείρισης ισχύος LED είναι αυτά της Luxeon, η οποία Luxeon είναι μία εταιρεία που προέκυψε από συνεργασία της Agilent με την Philips. Τα συγκεκριμένα LumiLED (Σχήμα 5) διατίθενται πλέον κανονικά στο εμπόριο και αναλώνουν περίπου 1 W. Τα λευκά LED παρουσιάζουν πτώση τάσης σε ορθή πόλωση 3,4 V, οπότε το ρεύμα θα είναι περίπου 300 mA. Όπως όλα τα LED, τα LumiLED παρουσιάζουν απότομη χαρακτηριστική τάσης ορθής πόλωσης. Το γεγονός αυτό στην ουσία σημαίνει ότι η απ' ευθείας τροφοδοσία από κάποια πηγή τάσης είναι μάλλον αδύνατη, εκτός εάν χρησιμοποιήσουμε διάταξη περιορισμού ρεύματος



Σχήμα 4. LED της Luxeon

ή κάποια πηγή ή ρεύματος.

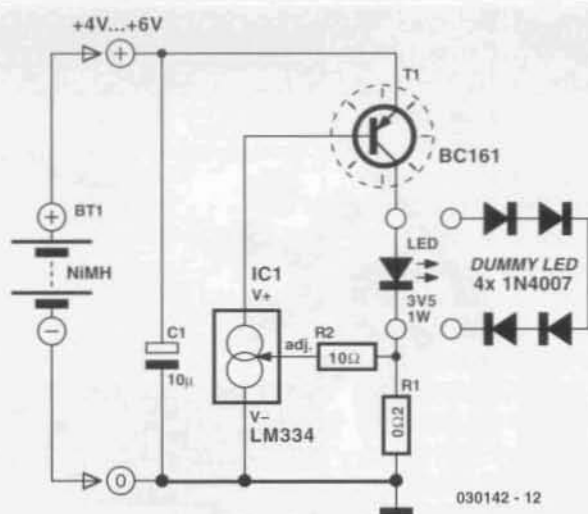
Η πίσω πλευρά του LED είναι μία επίπεδη μεταλλική επιφάνεια η οποία επιτρέπει την τοποθέτηση κάποιου ψύκτη για ψύξη της συσκευής. Η συνεχής λειτουργία στο μέγιστο του 1 W είναι δυνατή μόνον στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται ψύκτης για την απαγωγή της θερμότητας, ενώ χωρίς ψύκτη το LED υπερθερμαίνεται και πρέπει να χρησιμοποιείται σε υποβαθμισμένη κατάσταση (με μειωμένο ρεύμα ορθής πόλωσης).

Η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής για τις συγκεκριμένες συσκευές φτάνει τις 100.000 ώρες, τιμή που μεταφράζεται σε 10 χρόνια συνεχούς λειτουργίας! Παρ' όλα αυτά βέβαια η φωτεινή απόδοση των LED θα υποβιβαστεί και η απεικόνιση θα αρχίσει να γίνεται πιο αχνή. Μετά την πάροδο 10.000 ωρών αναμένεται μία μείωση της φωτεινότητας της τάξης του 20 %, ενώ μετά από 40.000 ώρες αναμένεται μία 20 % επί πλέον υποβάθμιση.

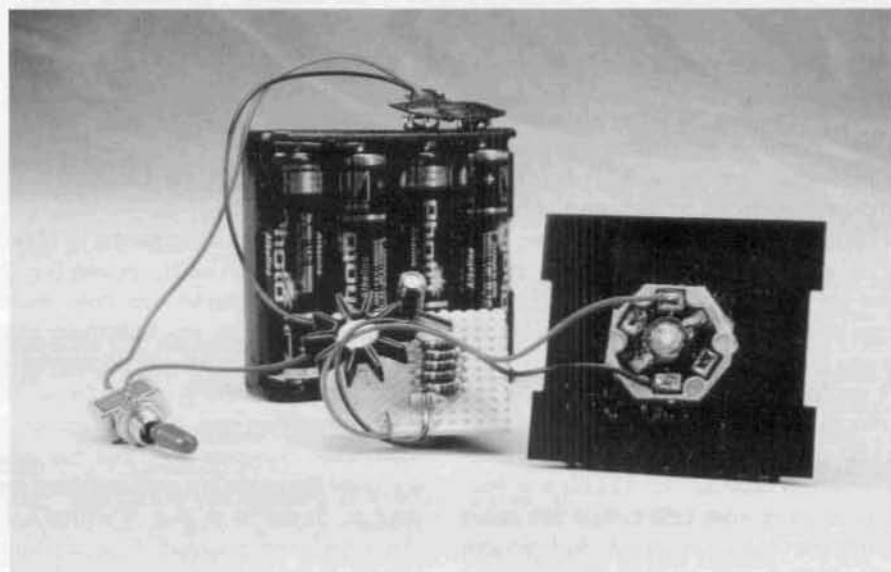
Στην συνέχεια θα αποπειραθούμε να συγκρίνουμε την αναμενόμενη διάρκεια ζωής ενός LED με αυτή ενός αυτοκινήτου. Ξεκινάμε λοιπόν με την παραδοχή ότι ένα αυτοκίνητο θα κάνει γύρω στις 300.000 km πριν χρειαστεί αντικατάσταση, και εάν θεωρήσουμε ότι θα έχει μία μέση ωριαία ταχύτητα 60 km/h (τιμή που ίσως βέβαια είναι λίγο αισιόδοξη για τους κατοίκους τόσο της Αθήνας αλλά και της κάθε σύγχρονης μεγαλούπολης), η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου είναι 5.000 ώρες. Οποιοδήποτε λοιπόν LED τοποθετηθεί σε όχημα θα καλύψει άνετα τον χρόνο ζωής του οχήματος χωρίς να χρειαστεί αντικατάσταση, και σε αυτό ακριβώς το σημείο τα LED παρουσιάζουν πλεονέκτημα όταν έχουμε να κάνουμε με εφαρμογές όπου η αντικατάσταση είναι δύσκολη ή δαπανηρή. Στο διαδίκτυο υπάρχει μία σελίδα στην οποία περιγράφονται διάφορες εφαρμογές μαζί με ηλεκτρικές και θερμικές προδιαγραφές, συμπεριλαμβανομένων και χαρακτηριστικών ακτινοβολίας κ.λ.π. σχετικά με τα LED της Luxeon. Για όποιον λοιπόν θέλει να πειραματιστεί με τα συγκεκριμένα LED, επιλέξαμε δύο μικρά κυκλώματα τα οποία θεωρούμε ότι μπορεί να αποδειχθούν χρήσιμα.

### Βαθμίδα οδήγησης LED της Luxeon η οποία χρησιμοποιεί τέσσερις μπαταρίες NiMH

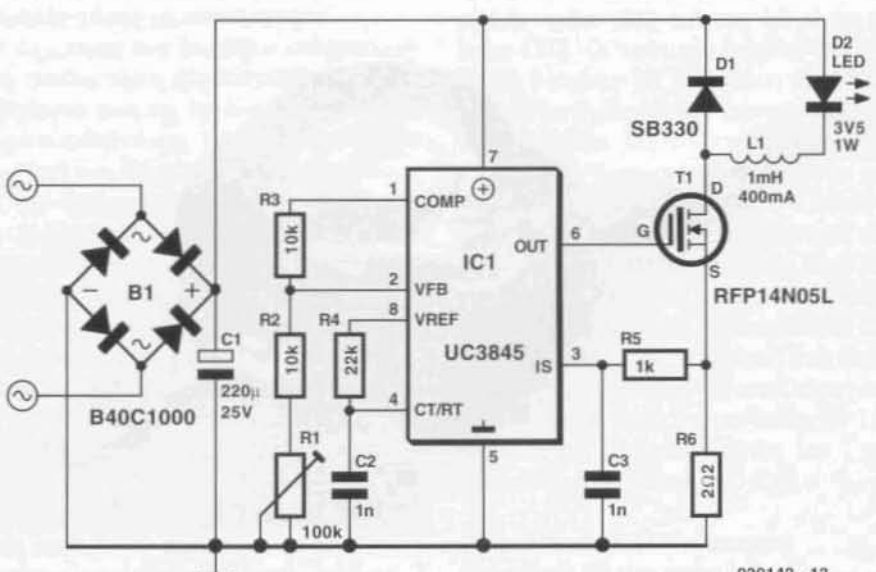
Το απλό κύκλωμα που περιγράφεται στο Σχήμα 6 έχει σχεδιαστεί για να οδηγεί ένα LED Luxeon 1 W, τροφοδοτούμενο από μία πηγή τάσης μεταξύ 4 V και 6 V. Ίδανική πηγή για την τροφοδοσία είναι μία συστοιχία τεσσάρων επαναφορτιζόμενων μπαταριών NiMH. Το IC1 αποτελεί την πηγή ρεύματος, όπου ελέγχει το ρεύμα που οδεύει προς το LED παρακολουθώντας την τάση που αναπτύσσε-



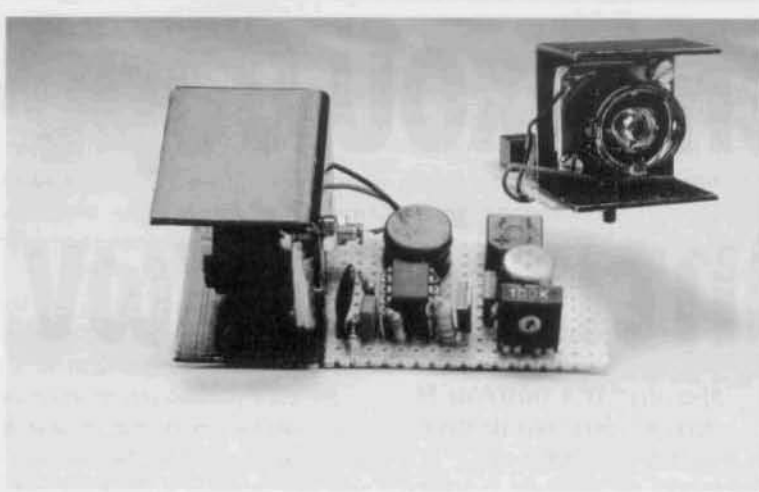
Σχήμα 5. LED 1 W με γραμμικό σταθεροποιητή.



Σχήμα 6. Ο σταθεροποιητής ρεύματος χαμηλής πτώσης τάσης, κατασκευασμένος επάνω σε μία διάτρητη πλακέτα.



Σχήμα 7. Ένας απλός σταθεροποιητής μεταγωγής με απόδοση 70 %.



Σχήμα 8. Το LED, ο ψύκτης και η μονάδα των 12 V.

ται στα άκρα της αντίστασης-αισθητήρα των 0,2 Ω R1 και της αντίστασης R2. Το ολοκληρωμένο ρυθμίζει την έξοδο του έτσι ώστε η τάση μεταξύ της εισόδου 'adj' και του V- να είναι 65 mV. Με τις τιμές που εμφανίζονται στο κύκλωμα, το ρεύμα στο LED θα είναι περίπου 250 mA. Η τάση αναφοράς είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του ολοκληρωμένου με σημείο αναφοράς το απόλυτο μηδέν, και θα είναι 65 mV μόνον σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25 °C). Όσο αυξάνει η θερμοκρασία του ολοκληρωμένου τόσο αυξάνει και η τάση αναφοράς, έχοντας σαν συνέπεια την αύξηση του ρεύματος που οδεύει προς το LED. Στους 40 °C το ρεύμα στο LED θα είναι:

$$250 \text{ mA} * (273 + 40) / (273 + 25) = 260 \text{ mA}.$$

Η μεταβολή αυτή δεν αποτελεί πρόβλημα για τις περισσότερες εφαρμογές, αλλά είναι σημαντικό να προσέξουμε ώστε το IC1 να μην βρίσκεται τροποποιημένο δίπλα σε κάποιο εξάρτημα που αναπτύσσει σχετικά υψηλή θερμοκρασία, όπως για παράδειγμα είναι το T1 ή το LED. Ένα πλεονέκτημα του συγκεκριμένου κυκλώματος είναι η πολύ μικρή πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης ελέγχου R1, η οποία δίνει στο κύκλωμα τις χαρακτηριστικές ενός σταθεροποιητή ρεύματος με χαμηλή πτώση τάσης. Η τάση εισόδου καλό είναι να διατηρείται κάτω από τα 6 V διαφορετικά η διάχυση ισχύος επάνω στο T1 γίνεται πολύ μεγάλη.

Δεδομένου ότι η τιμή του LED του 1 W είναι σχετικά μεγάλη (στην λιανική έχει περίπου 10 Ευρω), καλό είναι κατά την διάρκεια των δοκιμών να χρησιμοποιήσουμε κάποιο εικονικό φορτίο (ή στην συγκεκριμένη περίπτωση 'εικονικό LED'), απλά για να είμαστε σίγουροι ότι δεν θα το κάψουμε κατά λάθος των ώρα των δοκιμών. Αφού ελέγξουμε το

κύκλωμα και σιγουρευτούμε ότι όλα έχουν καλώς, αφαιρούμε το εικονικό LED και τοποθετούμε το φορτίο LED. Για την προσομοίωση του φορτίου που παρουσιάζει ένα κανονικό LED, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τέσσερις διόδους 1N4007 σε σειρά.

Για δοκιμή συνδέουμε το κύκλωμα σε μία πηγή μεταβαλλόμενης τάσης και αυξάνουμε σταδιακά την τάση. Ξεκινώντας από το μηδέν. Στα 3 περίπου V το κύκλωμα θα πρέπει να αναλάνει γύρω στα 250 mA, ενώ αυξάνοντας την τάση στα 6 V η τιμή αυτή του ρεύματος δεν πρέπει να αλλάζει. Αφού ολοκληρώσουμε με επιτυχία την συγκεκριμένη δοκιμή, απασυνδέουμε την τροφοδοσία και αντικαθιστούμε το εικονικό LED με ένα κανονικό. Στο Σχήμα 6 εικονίζεται το πρωτότυπο κύκλωμα κατασκευασμένο επάνω σε ένα κομμάτι διάτρητης πλακέτας, μαζί με ένα Star LED της Luxeon.

### Λειτουργία LED από τα 12 V

Η απλούστερη μέθοδος για να οδηγήσουμε ένα LED από μία πηγή 12 V είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα γραμμικό ρυθμιστή, όπως αυτός που φαίνεται και στο Σχήμα 5. Στα 12 V βέβαια η συγκεκριμένη μέθοδος δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική, δεδομένου ότι ένα μεγάλο ποσό ενέργειας αναλώνεται επάνω στο σταθεροποιητή. Μία καλύτερη εναλλακτική λύση είναι η χρήση παλμο-σταθεροποιητή, όπως αυτός που εικονίζεται στο Σχήμα 7. Το συγκεκριμένο κύκλωμα είναι σε θέση να οδηγήσει ένα LED 1W και τροφοδοτείται είτε από πηγή εναλλασσομένου, είτε από πηγή συνεχούς (π.χ. ένας μετασχηματιστής 12 V για οικιακά φωτιστικά αλογόνου, ή μία μπαταρία αυτοκινήτου). Η απόδοση του είναι περίπου 70 %, τιμή που δεν είναι βέβαια ιδιαίτερα ικανοποιητική, αλλά ένα πολύ θετικό στοιχείο του κυκλώματος είναι ότι δεν χρησιμοποιεί καθόλου εξειδικευμένα εξαρτήματα. Το κύκλωμα χρησιμοποιεί ένα συνηθισμένο

ολοκληρωμένο διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM) τύπου UC3845, σε σε τρόπο λειτουργίας 'ρεύματος'. Το δικτύωμα RC R4/C2 ελέγχει την συχνότητα μεταγωγής ενώ η τιμή των R2/P1 καθορίζει το ρεύμα εξόδου. Για να είμαστε σίγουροι ότι η κυμάτωση ρεύματος διατηρείται χαμηλά, χρησιμοποιούμε και μία σχετικά μεγάλη επαγωγή (L1). Το ρεύμα που διέρχεται από το LED δεν σταθεροποιείται άμεσα, αλλά αντίθετα το κύκλωμα ελέγχει τις αιχμές του ρεύματος που διέρχεται μέσα από το πηνίο. Με την τεχνική αυτή αποφεύγεται η χρήση του στοιχείου που παρεμβάλλεται στην διαδρομή του LED για τον έλεγχο του ρεύματος.

Για την δοκιμή του κυκλώματος μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όπως και προηγουμένως ένα εικονικό LED. Μόλις η τάση εισόδου ξεπεράσει τα 10 V, το κύκλωμα ξεκινάει την ταλάντωση και μέσω του P1 μπορούμε να ρυθμίσουμε το ρεύμα που διέρχεται από το LED στα 250 mA. Με τροφοδοσία στην εισοδο 12 V συνεχώς το κύκλωμα καταναλώνει γύρω στα 120 mA, ενώ με μικρές διακυμάνσεις της τάσης εισόδου, το ρεύμα στο LED δεν θα πρέπει να αλλάζει (τουλάχιστον αισθητά). Εφ' όσον όλες οι δοκιμές ολοκληρωθούν με επιτυχία, το εικονικό LED μπορεί να αντικατασταθεί από ένα κανονικό LED 1 W και το κύκλωμα μπορεί να τροφοδοτηθεί απ' ευθείας από την έξοδο ενός μετασχηματιστή 12 V για φωτιστικά αλογόνου. Το σκηνικό αυτό θα δώσει και μία πιο 'high tech' εικόνα στο σαλόνι μας...

Στο παραπάνω κύκλωμα είναι δυνατόν να συνδεθεί και το STAR/O LED της Luxeon. Η συγκεκριμένη μονάδα διαθέτει ενσωματωμένους φακούς και εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για συνεχή λειτουργία, θα πρέπει οπωσδήποτε να στερεωθεί σε ένα ψύκτη. Η στερέωση του LED επάνω στον ψύκτη μπορεί να γίνει ακόμη και με ένα εύκαμπτο (ηλεκτρικά μονωμένο) σύρμα.

### Επιστροφή στο μέλλον

Είναι σίγουρο ότι οι εξελίξεις στην τεχνολογία των LED θα οδηγήσουν σε περαιτέρω διάδοση της χρήσης των ημιαγωγών σαν φωτιστικά στοιχεία. Υπάρχουν ήδη μονάδες οι οποίες παρουσιάζουν ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας 700 mA και συνεχώς βλέπουμε τα LED να αντικαθιστούν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως σε εφαρμογές όπως είναι η φωτεινή σηματοδότηση στην κυκλοφορία, ή τα φώτα πορείας των οχημάτων, ή ακόμη και ο φωτισμός υποβάθρου σε οθόνες LCD.030142-

### Διευθύνσεις στο διαδίκτυο:

www.luxeon.com  
www.michia.com www.int.conradcom.de  
www.osram.de