



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής,
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Ηλεκτρονικών Μηχανικών.**

Πτυχιακή Εργασία

**Θεωρητική και Πειραματική μελέτη αρμονικών ρεύματος και τάσης λαμπτήρων
CFL και LED**

**Theoretical and experimental study of current and voltage harmonics of CFL
and LED lamps**

**Φοιτητής: Καραγιάννης Ευθύμιος
ΑΜ: 42777**

Επιβλέπων Καθηγητής

**Γεώργιος Βόκας
Καθηγητής ΠΑΔΑ**

Ημερομηνία: 10/10/2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, μελετήθηκαν 8 άρθρα (ή έγγραφα) τα οποία άρθρα προτάθηκαν από τον επιβλέποντα. Έγινε μελέτη, ανάλυση και απόδοση των άρθρων αυτών και της διεθνούς βιβλιογραφίας. Τα άρθρα αναφέρονται για τις αρμονικές κυματομορφές που δημιουργούνται από λαμπτήρες LED και CFL και πώς μπορούμε να εφαρμόσουμε κάποιο είδος φίλτρου για την ελαχιστοποίηση αυτών των αρμονικών έτσι ώστε να μην προκαλούνται αρμονικές στο δίκτυο. Παρατηρούμε ότι, σήμερα προσπαθούμε όλο και περισσότερο να χαμηλώσουμε το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κάνοντας χρήση λαμπτήρων LED καθώς καταναλώνουν 75% λιγότερη ενέργεια. Ωστόσο, είναι κρίσιμο θέμα να διερευνηθεί αν και κατά πόσον η αυξανόμενη χρήση λαμπτήρων LED αλλά και άλλων έχει οδηγήσει στην εισαγωγή αρμονικών συνιστωσών ρεύματος στο ηλεκτρικό δίκτυο, αυξάνοντας τις αρμονικές τάσης. Συνεπώς, είναι ενδιαφέρον να μετρήσουμε και εμείς αυτές τις κυματομορφές ρεύματος και τάσης που διαρρέει μια συστοιχία λαμπτήρων φθορισμού (CFL) ή LED. Η μέτρηση και ανάλυση των αρμονικών που προκαλούνται από πάνελ με λαμπτήρες CFL και LED παρουσιάζεται και αναλύεται, ενώ προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα από τη βιβλιογραφία για το είδος των φίλτρων περιορισμού αυτών.

ABSTRACT

In this thesis, 8 articles (or papers) were studied which articles were suggested by the supervisor. These articles have been studied, analyzed and rendered and international bibliography. The articles refer to the harmonic waveforms created by LED and CFL lamps and how we can apply some kind of filter to minimize these harmonics so that they are not harmonic in the network. We observe that today we are increasingly trying to reduce the cost of electricity by using LED bulbs as they consume 75% less energy. However, it is critical to investigate whether and to what extent the increased use of LED lamps and others has led to the introduction of harmonic current components into the mains, increasing voltage harmonics. Therefore, it is interesting for us to measure these current and voltage waveforms that flow through a fluorescent lamp (CFL) or LED array. The measurement and analysis of the harmonics caused by CFL and LED panels are presented and analyzed, and interesting conclusions are drawn from the literature on the type of limiting filters.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|-----------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ | 10 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ | 12 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ | 13 |
| 1. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΦΩΤΙΣΜΟ LED ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 14 |
| IMPACTS OF LED LIGHTING ON POWER QUALITY | 14 |
| 1.1 Περίληψη..... | 14 |
| 1.2 Εισαγωγή | 14 |
| 1.3 Κύρια εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία φωτισμού LED..... | 14 |
| 1.4 LED φωτισμός και αρμονικές εκπομπές | 15 |
| 1.5 Μηδενική αρμονική ακολουθία..... | 15 |
| 1.6 Όριο αρμονικών εκπομπών για εξοπλισμό φωτισμού LED σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-3-2..... | 17 |
| 1.7 Αρμονική εκπομπή στο ηλεκτρικό δίκτυο με φωτισμό LED..... | 18 |
| 1.8 Συντελεστής ισχύος (PF) των λυχνιών LED | 18 |
| 1.9 Το ρεύμα ενεργοποίησης που προκαλείται από τους οδηγούς LED και την επιλογή του διακόπτη..... | 20 |
| 1.10 LED ρεύματος διαρροής γείωσης..... | 22 |
| 1.11 Φαινόμενα ποιότητας ενέργειας που επηρεάζουν την απόδοση φωτισμού LED..... | 22 |
| 1.12 Συμπέρασμα..... | 23 |
| 2. ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ, ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ LED ΚΑΙ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ..... | 25 |
| COMPACT FLUORESCENT LAMPS, LED LAMPS AND HARMONIC DISTORTION | 25 |
| 2.1 Περίληψη..... | 25 |
| 2.2 Εισαγωγή | 25 |
| 2.3 Αρμονική παραμόρφωση και αρμονία | 26 |
| 2.4 Μεθοδολογία | 27 |
| 2.5 Παράδειγμα | 27 |
| 2.6 Συμπέρασμα..... | 28 |
| 3. ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ LED STREET ΦΩΤΙΣΜΟΥ..... | 29 |

| | |
|---|-----------|
| HARMONIC ANALYSIS OF LED STREET LIGHTING ACCORDING TO IEC61000-3-2 | 29 |
| 3.1 Εισαγωγή | 29 |
| 3.2 IEC61000-3-2 STANDARD | 30 |
| 3.3 Μέτρηση Αρμονικών..... | 31 |
| 3.4 Αποτελέσματα και ανάλυση | 31 |
| 3.5 Συμπέρασμα..... | 33 |
| 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ LED | 34 |
| AN ANALYSIS OF HARMONICS FROM LED LAMPS | 34 |
| 4.1 Περίληψη | 34 |
| 4.2 Εισαγωγή | 34 |
| 4.3 Βασική λειτουργία των LEDS και των αρμονικών προτύπων | 35 |
| 4.3.1 Αρχή Λειτουργίας Λαμπτήρων LED | 35 |
| 4.3.2 Όρια Harmonic Injection / ή Λυχνίες LED | 36 |
| 4.4 Μεθοδολογία | 38 |
| 4.5 Αποτελέσματα και συζήτηση | 38 |
| 4.5.1 Αποτελέσματα από απλούς λαμπτήρες | 38 |
| 4.5.2 Ευρήματα από τις ίδιες επώνυμες λάμπες..... | 39 |
| 4.6 Ευρήματα από τους ίδιους λαμπτήρες ισχύος | 40 |
| 4.7 Συμπέρασμα..... | 41 |
| 5. ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ LED ΧΑΜΗΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ | 42 |
| HARMONICS AND THERMAL CHARACTERISTICS OF LOW WATTAGE LED LAMPS | 42 |
| 5.1 Περίληψη | 42 |
| 5.2 Εισαγωγή | 42 |
| 5.3 Αρμονικό πρότυπο των λαμπτήρων LED | 43 |
| 5.4 Πείραμα | 44 |
| 5.5 Διαδικασία μέτρησης αρμονικών | 45 |
| 5.6 Διαδικασία μέτρησης θερμότητας | 45 |
| 5.7 Αποτελέσματα | 46 |
| 5.8 Χαρακτηριστικό των μεμονωμένων λαμπτήρων..... | 46 |
| 5.10 Θερμική μέτρηση λαμπτήρων LED | 51 |
| 5.11 Σύγκριση των θερμικών χαρακτηριστικών των λαμπτήρων LED και των CFL..... | 52 |
| 5.12 Συμπέρασμα..... | 52 |

| | |
|--|-----------|
| 6. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΤΕΛΙΚΟΥ ΧΡΗΣΤΗ | 54 |
| POWER QUALITY AND HARMONIC ANALYSIS OF END USER DEVICES..... | 54 |
| 6.1 Περίληψη..... | 54 |
| 6.2 Εισαγωγή..... | 54 |
| 6.3 Ανάλυση Ποιότητας Ισχύος | 55 |
| 6.4 Πειραματικό Τμήμα..... | 57 |
| 6.4.1. Πειραματικές δοκιμές σε πάνελ LED..... | 58 |
| 6.4.2. Πειραματικές δοκιμές σε σποτ LED | 61 |
| 6.5 Πειραματικές δοκιμές σε συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού..... | 63 |
| 6.6 Συμπέρασμα..... | 66 |
| 7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ BALLAST ΤΗΣ ΛΑΜΠΑΣ Τ5 ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ | 67 |
| ENERGY SAVINGS ANALYSIS AND HARMONICS REDUCTION FOR THE ELECTRONIC BALLAST OF T5 FLUORESCENT LAMP IN A BUILDING'S LIGHTING SYSTEM | 67 |
| 7.1 Περίληψη..... | 67 |
| 7.2 Εισαγωγή..... | 67 |
| 7.3 Προσομοίωση και αποτελέσματα φωτισμού..... | 71 |
| 7.4 Πειραματική ρύθμιση και αρμονικά αποτελέσματα | 71 |
| 7.5 Μείωση αρμονικών με χρήση παθητικού φίλτρου χαμηλής διέλευσης..... | 78 |
| 7.6 Συμπέρασμα..... | 81 |
| 8. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΤΟΥ LED DRIVER..... | 82 |
| ANALYTICAL STUDY OF HARMONICS ISSUED FROM LED LAMP DRIVER | 82 |
| 8.1 Περίληψη..... | 82 |
| 8.2 Εισαγωγή..... | 82 |
| 8.3 Μελέτη συστήματος και ρύθμιση πειράματος | 82 |
| 8.4 Μέτρηση και αποτελέσματα αρμονικής παραμόρφωσης..... | 84 |
| 8.5 Αναζήτηση του αρμονικού φίλτρου χαμηλής διέλευσης | 85 |
| 8.6 Συμπέρασμα..... | 87 |
| 9. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ | 88 |
| 9.1 Εισαγωγή..... | 88 |
| 9.2 Ανάλυση γραφικών παραστάσεων μετρήσεων | 90 |
| 9.2.1 Ανάλυση κυματομορφών συντελεστού ισχύος..... | 90 |
| 9.2.2 Ανάλυση κυματομορφών ισχύος..... | 91 |
| 9.2.3 Ανάλυση κυματομορφών τάσης και ρεύματος για τις αρμονικές 3η-13η..... | 92 |

| | |
|---|-----------|
| 9.2.3 Ανάλυση κυματομορφών τάσεως και ρεύματος 3ης – 99ης αρμονικών | 94 |
| 10. ΕΠΙΛΟΓΟΣ | 96 |
| 11. ΑΝΑΦΟΡΕΣ | 97 |