

Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor
Departamentul de Electrotehnică

Utilizarea eficientă și managementul energiei electrice

Teză de abilitare

Autor: prof. dr. ing. Radu-Dumitru PENTIUC

Suceava
iunie 2017

Faculty of Electrical Engineering and Computer Science
Electrotechnics Department

Efficient use and management of electricity

Habilitation thesis

Autor: prof. dr. ing. Radu-Dumitru PENTIUC

Suceava
iunie 2017

CUPRINS	2
Abstract.....	4
Rezumat.....	6
Capitolul 1 Motivația tezei de abilitare	8
1.1. Introducere.....	8
1.2. Eficiența energetică.....	10
1.3. Indicatori și acțiuni prioritare privind schimbările climatice în producerea și asigurarea cu energie.....	10
1.3.1. Raportul din perspectiva oficialilor WEC.....	10
1.3.2. Cele 5 priorități identificate în raportul pentru 2015.....	10
1.3.3. Indicatorii definiți și monitorizați în studiile privind trilema energiei.....	11
1.3.4. Tendințe și perspective.....	14
1.3.5. Scenarii energetice.....	15
1.4. Posibilă soluție energetică.....	16
Capitolul 2 Instalații electrice de iluminat artificial	17
2.1. Introducere.....	17
2.2. Cadru legislative pentru iluminatul artificial.....	17
2.2.1. Normative.....	17
2.2.2. Standarde.....	18
2.2.3. Legi.....	18
2.2.4. Hotărâri ale guvernului.....	19
2.2.5. Regulamente locale.....	19
2.3. Studiul surselor de lumină.....	20
2.3.1. Lămpi cu descărcări în vapori metalici la înaltă presiune.....	20
2.3.2. Lampa SON – T PIA Plus.....	21
2.3.3. Lămpi cu LED.....	23
2.4. Dimensionarea instalațiilor de iluminat artificial.....	24
2.4.1. Clasificarea sistemelor de iluminat rutier.....	24
2.4.2. Străzi sisteme de iluminat destinate autostrăzilor.....	25
2.4.3. Optimizarea iluminatului într-o intersecție prevăzută cu sens giratoriu.....	27
2.4.4. Dimensionarea sistemului de iluminat din intersecție.....	27
2.4.5. Concluzii.....	29
2.5. Iluminatul decorativ arhitectural (monumente, clădiri).....	30
2.6. Iluminat arhitectural pentru clădire propusă în patrimoniu.....	31
2.7. Indicatorul numeric de energie luminoasă.....	33
2.7.1. Metoda simplă.....	35
2.7.2. Metoda detaliată.....	36
2.7.3. Evaluarea eficienței iluminatului exterior.....	38
Capitolul 3 Calitatea energiei electrice din iluminat	39
3.1. Influența asupra calității energiei electrice a iluminatului stradal cu LED.....	39
3.2. Influența asupra calității energiei electrice a iluminatului stradal cu lămpi cu descărcări în vapori metalici la înaltă presiune.....	43
3.3. Măsurători de laborator ale calității energiei electrice pentru lămpile cu descărcări în vapori metalici la înaltă presiune.....	44
3.4. Mărimi fotometrice măsurate în iluminatul stradal.....	46

3.5. Statistică comparativă	48
3.6. Sisteme de comandă și monitorizare pentru iluminatul public economic	49
3.6.1. Principiul sistemic	50
3.6.2. Transferul porturilor PC	52
Capitolul 4 Electrotehnologii	54
4.1. Particularități constructive și funcționale ale motoarelor de inducție în construcție hibridă	54
4.1.1. Posibilități de transformare topologică a mașinii de inducție	54
4.1.2. Clasificări ale mașinilor electrice de inducție	55
4.2. Motorul asincron hibrid cu întrefier axial	55
4.2.1. Motorul asincron hibrid cu întrefier axial cu indus magnetic	58
4.3. Reactanțele motorului hibrid	60
4.3.1. Calculul inductanțelor înfășurărilor plane prin metoda ponderilor pentru motoarele hibride cu inductoare liniare	60
4.3.2. Calculul reactanțelor înfășurărilor în inel la inductoare toroidale	64
4.3.2.1. Reactanța de magnetizare	65
4.3.2.2. Reactanțele de scăpări	66
4.3.2.3. Permeanța creștăturii	70
4.3.2.4. Permeanța părților frontale a bobinelor în inel	71
4.3.2.5. Reactanța inductivă de scăpări diferențială	72
4.3.2.6. Reactanțe specifice motoarelor hibride cu înfășurări de tip inel	73
4.3.2.7. Metoda grafică	73
Capitolul 5 Sistem energetic de prognoză pe termen scurt pentru consumatori electrici eligibili	78
5.1. Prezentare generală	78
5.2. Metoda de lucru anterioară	79
5.3. Prezentarea soluției implementate	80
5.4. Concluzii	84
Capitolul 6 Evoluția profesională și competențele profesionale în domeniul electric	85
6.1. Întreprinderea de Mașini Unelte (IMUS) Suceava, primul loc de muncă	85
6.2. Cursuri de perfecționare	86
6.3. Activitatea didactică la Universitatea “Ștefan cel Mare”, la Catedra/Departamentul de Electrotehnică	87
6.4. Activitatea de cercetare	88
6.5. Recunoașterea și impactul activității	91
Propunere de dezvoltare a carierei universitare	96
Referințe bibliografice	99

CONTENTS	2
Abstract	4
Rezumat	6
<i>Chapter 1</i> Motivation of the empowerment thesis	8
1.1. Introduction	8
1.2. Energy efficiency	10
1.3. Priority indicators and actions on climate change in energy production and supply	10
1.3.1. Report from the perspective of WEC officials	10
1.3.2. The 5 priorities identified in the 2015 report.....	10
1.3.3. Indicators defined and monitored in triple energy studies	11
1.3.4. Trends and perspectives	14
1.3.5. Energy scenarios	15
1.4. Possible energy solution.....	16
<i>Chapter 2</i> Artificial lighting installations	17
2.1. Introduction	17
2.2. Legislative framework for artificial lighting	17
2.2.1. Technical norma	17
2.2.2. Standards	18
2.2.3. Laws	18
2.2.4. Government decisions	19
2.2.5. Local regulations.....	19
2.3. Study of light sources.....	20
2.3.1. High pressure metal vapor discharge lamps	20
2.3.2. SON - T PIA Plus.....	21
2.3.3. LED lamps	23
2.4. Sizing of artificial lighting instalation	24
2.4.1. Classification of road lighting systems	24
2.4.2. Street lighting systems for motorways.....	25
2.4.3. Optimizing lighting in a roundabout junction.....	27
2.4.4. Dimensioning of the lighting system at intersection.....	27
2.4.5. Conclusions	29
2.5. Architectural decorative lighting (monuments, buildings)	30
2.6. Architectural lighting for a building proposed in the patrimony.....	31
2.7. Numerical light energy indicator.....	33
2.7.1. Simple method	35
2.7.2. Detailed method	36
2.7.3. Evaluation of the efficiency of outdoor lighting.....	38
<i>Chapter 3</i> Electricity quality in lighting	39
3.1. Influence on electricity quality of street lighting with LED	39
3.2. Influence on street lighting power quality with high pressure metallic discharge lamps	43

3.3. Laboratory measurements of the quality of electrical energy for high pressure metallic discharge lamps	44
3.4. Photometric parameters measured in street lighting.....	46
3.5. Comparative statistics	48
3.6. Control and monitoring systems for public economic lighting.....	49
3.6.1. The systemic principle.....	50
3.6.2. PC port transfer	52
Chapter 4 Electrotechnologies.....	54
4.1. Constructive and functional features of induction motors in hybrid construction	54
4.1.1. Topology transforming options for the induction machine	54
4.1.2. Classification of induction electrical machines	55
4.2. Hybrid Asynchronous Motors with Axial air gap	55
4.2.1. Hybrid asynchronous motor with axial air gap with magnetic induction	58
4.3. Hybrid Engine reactance	60
4.3.1. Calculation of flat winding inductors by weights method for hybrid motors with linear inductors	60
4.3.2. Calculation of ring winding reactances at toroidal inductors	64
4.3.2.1. Magnetization reactance	65
4.3.2.2. Leakage reactance	66
4.3.2.3. Permeability of the notch.....	70
4.3.2.4. Permeability of the front ends of the ring coils.....	71
4.3.2.5. Indirect leakage inductive reactance	72
4.3.2.6. Hybrid ring - type drives with ring windings reactance	73
4.3.2.7. Graphic method.....	73
Chapter 5 Short - term energy forecasting system for eligible electricity consumers	78
5.1. Overview	78
5.2. Previous working method.....	79
5.3. Presentation of the implemented solution	80
5.4. Conclusions	84
Chapter 6 Professional development and professional skills in the electrical field	85
6.1. The Machine Tool Company (IMUS) Suceava, the first job	85
6.2. Training courses.....	86
6.3. Didactic activity at "Stefan cel Mare" University, at the Electrotechnics Department	87
6.4. Research activity.....	88
6.5. Recognition and Impact of Work	91
Proposal for the development of the university career	96
Bibliographic references	99

Abstract

Global warming now involves two major problems for humanity, on one hand, the need for a drastic reduction in greenhouse gas emissions in order to stabilize the concentration of these gases in the atmosphere to prevent anthropogenic influence on the climate system and to enable natural ecosystems to adapt naturally, and on the other hand the need to adapt to the effects of climate change, considering as these effects are already visible and inevitable due to the inertia of the climate system, irrespective of the outcome of emission reduction actions.

The European Commission has launched in March 2010, in conformity with Directive 2006/32 / EC of the European Parliament and of the Council from 5 April 2006, the strategy Europe 2020 for the exit from the crisis and for preparing the EU economy for the next decade. In practice, the Union has set five major objectives - employment, innovation, education, social inclusion and the environment / energy - to be achieved by 2020. Romania has adopted its own national targets in these areas, the environmental / Energy being: Reducing greenhouse gas emissions - 20%, Renewable energy use in final consumption - 20%, increasing energy efficiency - 20%.

In 2040 there will be 9 billion people whose access to energy will be limited by a trilemma that evaluates the sustainable development of energy: safety in production and feeding, equity, environmental sustainability. The forecast is that 1.1 billion will not have access to energy.

LENR Low Energy Nuclear Reactions (or sometimes Lattice Enabled Nanoscale Reactions) represent low energy nuclear reactions and refers to the phenomenon of abnormal heat generation when certain metals (e.g. Nickel, Palladium) absorb hydrogen or deuterium and an external stimulus.

The empowerment thesis "Effective use and management of electricity" sums up the research activity before and after the presentation the PhD thesis. The research activity as well as the results presented fall within the field of electrotechnologies, highlighting the research directions in this broad field: artificial lighting installations, linear and hybrid engines, electric cars, energy management with energy audit, energy forecast in tight relation with the energy market.

In the first part there are presented aspects related to the electric and photometric characteristics of electric lighting installations for indoor lighting, road and pedestrian lighting, as well as the ornamental and architectural lighting. Several manufacturers and types of equipment, classical sources with various operating principles, modern LEDs and luminaires are analyzed. Road facilities are classified. In the laboratory, in the installations in operation were studied and analyzed the characteristics of lighting units equipped with classical light sources, or with the most recently introduced led light sources. The efficiency of LED light sources results from the reduction of installed electrical power and the increase in life expectancy.

In the next chapter we analyze the influence on the quality of electrical energy using a comparative study between classical and new LED sources. Lighting installations for real roadways are designed and the conditions imposed by national and European norms and standards are simulated. The latest optimization indices are introduced for both indoor and outdoor lighting. All this is the basis of the economic calculation and the depreciation of the investment costs.

Another concern I had was linear engines. Hybrid induction motors, with the special features, qualities and advantages they offer compared to rotary motors, open new directions in the design of drive systems. They make it possible to achieve low-speed motion without the need of using to mechanical reducers. The current trend is to improve the parameters of this engine, an effort coupled with the option of extending the scope of practical applicability. These are just a few of the explanations that various prestigious research teams have proposed as topics, studies and experiments in the field of electric motor drives in a category that does not belong to either rotary or linear induction motors: the hybrid engine of induction. A great electric car enthusiast, has studied and experienced for a long time the performances and effects of induction fields in this family since he was a professor at the University of Manchester. His brilliant ideas and valuable scientific works have enabled the engineer with solid knowledge, Prof. E. R. Laithwaite, to put into use at the Imperial College in London the valuable and original technical ideas on unconventional induction

machines, Professor P. G. Budig in Germany, Jean-Claude Sabonnadiere from the Grenoble University Faculty of Science, Polish Professor J. F. Gieras

In our country, Prof. Dr. Lorin Cantemir, in the Ph.D thesis. Theoretical and experimental contributions on the three-phase linear induction motor and possibilities of use in Iasi in 1974, as well as the professors Lucian Ciobanu and Gheorghe Livinț in Timisoara prof. Ion Boldea, with the paper Contributions on specific phenomena and electromagnetic calculation of three-phase plane linear motors, doctoral thesis presented in 1972, at Suceava Professor Leon Mandici, at Galați D. Călușeanu, in Brașov O. Peșteanu and Constanța conf. Doru Botez are researchers with performance studies in linear machines, which show interest in this ever-new field and with possibilities for industrial applications.

The experimental data presented highlights a number of features of the hybrid machine: average and low speed rotation obtained with acceptable efficacy and power factors, a wide range of speed adjustments, couples and forces that can be obtained by constructive modifications, a proper cooling of windings, quick debugging, simple and easy maintenance, braking possibilities.

Important areas such as electric traction and transport have possible applications with hybrid motors. Advantages that require the use of these drives are: simplifying the wheel-motor assembly, fine-tuning for wide-range speeds, efficient cooling, quick-debug, easy maintenance and constructive diversity.

An eligible consumer with multiple branches distributed across a geographic area often has an energy manager with the task of coordinating a team of local energy managers in branch manufacturing units to produce and transmit daily curves forecasting aggregates and consumption to his electricity supplier.

In the next chapter there is presented a dedicated computer system that facilitates the energy consumption forecast of an eligible consumer with geographically distributed production locations, referred to as branches. In each branch one or more production units / workshops equipped with power telematics systems where data is recorded and can be read and processed by local energy managers. Daily hourly consumption is compared to daily forecasting. The main purpose is to minimize deviations, to reduce the price of energy recovery.

Professional development and occupational skills in the electrical field are the subject of the following chapter. The experience gained in the 11 years of production (1982-1993) has been beneficial since the employment as the associate professor in 1988, then by a 1993 competition. The activities of the academic community, for almost 30 years, have allowed me to develop myself professionally and scientifically. I have participated at courses of didactic and managerial training, we developed research elements related to scientific and engineering education. I have promoted the collective spirit to friendship in the Department of Electrotechnics and in faculty. At the chair, with the students, I have watched the transmission of the skills of the profession, but also the grinding of the young characters, in order to be well prepared for real life.

We have promoted our faculty and preoccupations in the pre-university environment, at the universities in the country and abroad, as well as in the local and county administrations. Through intensive collaboration, the establishment of sustainable partnerships with private companies, public institutions, collectives of researchers from universities in the country and abroad, we will only be able to contribute to economic development and prosperity in the historical region of Bucovina, working together.

The basis for the elaboration of this thesis is formed of my own books, papers, patents, research contracts, as well as articles published in specialized publications, dedicated to the field.

Finally, there is a bibliographic chapter containing the minimum references that refer to the aspects presented in the empowerment thesis.

Rezumat

Încălzirea globală implică în prezent două probleme majore pentru omenire, pe de o parte necesitatea reducerii drastice a emisiilor de gaze cu efect de seră în vederea stabilizării nivelului concentrației acestor gaze în atmosferă care să împiedice influența antropică asupra sistemului climatic și a da posibilitatea ecosistemelor naturale să se adapteze în mod natural, iar pe de altă parte necesitatea adaptării la efectele schimbărilor climatice, având în vedere că aceste efecte sunt deja vizibile și inevitabile datorită inerției sistemului climatic, indiferent de rezultatul acțiunilor de reducere a emisiilor.

Comisia Europeană a lansat în luna martie 2010, conform directiva 2006/32/ce a parlamentului european și a Consiliului din 5 aprilie 2006, Strategia Europa 2020 pentru ieșirea din criză și pregătirea economiei UE pentru deceniul următor. În practică, Uniunea a stabilit cinci obiective majore – privind ocuparea forței de muncă, inovarea, educația, incluziunea socială și mediul/energia - care urmează să fie îndeplinite până în 2020. România a adoptat propriile obiective naționale în aceste domenii, obiectivele de mediu/energie fiind: Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră - 20 %, Ponderea energiei din surse regenerabile în consumul final - 20%, Creșterea eficienței energetice - 20%.

În anul 2040 vor fi 9 miliarde de locuitori a căror acces la energie va fi limitat de o trilemă care evaluează dezvoltarea durabilă a energiei: siguranța în producere și alimentare, echitatea, durabilitate în raport cu mediul. Previziunea este ca 1,1 miliarde să nu aibă acces la energie.

LENR Low Energy Nuclear Reactions, (or sometimes Lattice Enabled Nanoscale Reactions) reprezintă **Reacțiile Nucleare cu Energie Mică** (sau uneori Reacțiile Nanoscale Enabled Lattice) și se referă la fenomenul în care se produc cantități anormale de căldură atunci când anumite metale (de exemplu, nichel, paladiu) absorb hidrogenul sau deuteriul și un stimul extern.

Teza de abilitare “Utilizarea eficientă și managementul energiei electrice” sumează activitatea de cercetare înainte și după susținerea tezei de doctorat. Activitatea de cercetare precum și rezultatele prezentate se încadrează în domeniul electrotehnologiilor, subliniind direcțiile de cercetare în acest larg domeniu: instalații electrice de iluminat artificial, motoare liniare și în construcție hibridă, automobilul electric, managementul energiei cu auditul energetic, prognoza de energie în legătură strânsă cu piața de energie

În prima parte sunt prezentate aspecte legate de caracteristicile electrice și fotometrice ale instalațiilor electrice pentru iluminatul artificial, folosite la iluminatul interior, stradal rutier și pietonal, dar și cel ornamental și architectural. Sunt analizați mai mulți producători și tipuri de echipamente, surse clasice cu diverse principii de funcționare, cele moderne led, precum și copuri de iluminat. Sunt clasificate instalațiile rutiere. În laborator, în instalațiile din exploatare au fost studiate și analizate caracteristicile corpurilor de iluminat echipate cu surse de lumină clasice, sau cu surse de lumină cu led cele mai recent introduse. Eficiența surselor de iluminat cu LED rezulta din reducerea puterii electrice instalate și a creșterii duratei de funcționare.

În capitolul următor este analizată influența asupra calității energiei electrice prin studiu comparativ între sursele clasice și cele noi cu LED. Sunt proiectate instalații de iluminat pentru trasee rutiere reale și simulate condițiile impuse prin normative și standard naționale și europene. Sunt introduși și cei mai noi indici de optimizare atât pentru iluminatul interior cât și pentru cel exterior. Toate acestea stau la baza calculului economic și al amortizării costurilor de investiții.

O altă preocupare pe care am avut-o au fost motoarele liniare. Motoarele hibride de inducție, cu caracteristicile, calitățile și avantajele deosebite pe care le oferă față de motoarele rotative, deschid direcții noi în realizarea sistemelor de acționare. Ele fac posibilă realizarea mișcării de joasă viteză fără a mai recurge la reductoare mecanice. Tendința actuală este de a perfecționa parametri acestui motor, un efort conjugat cu opțiunea de extindere a ariei de aplicabilitate practică. Acestea sunt doar câteva din explicațiile faptului că în diverse colective de cercetare de prestigiu s-au propus ca teme, studii și experimentări din domeniul acționărilor cu mașini electrice dintr-o categorie ce nu aparține nici mașinilor rotative nici celor liniare de inducție: *motorul hibrid de inducție*. Un mare pasionat al mașinilor electrice, a studiat și experimentat îndelung performanțele și efectele câmpurilor inductoare din această familie,

încă de când era profesor la Universitatea din Manchester. Strălucitele sale idei și lucrările științifice valoroase au permis inginerului cu solide cunoștințe, prof. E. R. Laithwaite, să-și pună în aplicație la *Imperial Colege* din Londra valoroasele și originalele idei tehnice asupra mașinilor de inducție neconvenționale. Profesorul P. G. Budig în Germania, Jean-Claude Sabonnadiere de la Facultatea de Științe a Universității din Grenoble, profesorul polonez J. F. Gieras

În țara noastră, prof. dr. ing. Lorin Cantemir, în teza de doctorat *Contribuții teoretice și experimentale asupra motorului trifazat liniar de inducție și posibilități de utilizare* susținută la Iași în 1974, dar și profesorii Lucian Ciobanu și Gheorghe Livinț, la Timișoara prof. Ion Boldea, cu lucrarea *Contribuții privind fenomenele specifice și calculul electromagnetic al motoarelor trifazate plane liniare*, teză de doctorat prezentată în 1972, la Suceava prof. Leon Mandici, la Galați D. Călușanu, la Brașov O. Peșteanu și la Constanța conf. Doru Botez, sunt cercetători cu studii de performanță în mașini liniare, ce atestă interesul în acest domeniu mereu nou și cu posibilități de aplicații industriale.

Datele experimentale, prezentate, evidențiază o serie de particularități ale mașinii hibride: viteze de rotație medii și joase obținute cu randamente și factori de putere acceptabili, o gamă largă de reglaje de viteze, cupluri și forțe ce se pot obține prin modificări constructive, o răcire corespunzătoare a înfășurărilor, depanare rapidă, construcție simplă și ușoară, posibilități de frânare.

Importante domenii ca tracțiunea electrică și transporturile au posibile aplicații cu motoare hibride. Avantajele care impun utilizarea acestor acționări sunt: se simplifică ansamblul roată-motor, reglaj fin de viteze în gamă largă, răcire performantă, depanare rapidă, întreținere ușoară, diversitate constructivă.

Consumatorul eligibil care are mai multe sucursale distribuite pe o arie geografică, are cel mai adesea și un responsabil energetic al companiei cu sarcina de a coordona o echipă de responsabili energetici locali aflați în unitățile de producție ale sucursalelor, pentru a întocmi și transmite zilnic curbe orare agregate de prognoză și consum către furnizorul său de energie electrică.

În capitolul următor se prezent un sistem informatic dedicat ce permite facilitarea prognozei consumului de energie al unui consumator eligibil cu locații de producție distribuite geografic numite în continuare sucursale. În fiecare sucursală una sau mai multe unități/ateliere de producție dotate cu sisteme de telegestiune a energiei electrice unde datele înregistrate și pot fi citite și prelucrate de responsabilii energetici locali. Consumurile orare zilnice sunt comparate cu prognozele orare zilnice. Scopul principal este acela de a minimiza deviațiile, de reducere a prețului de revenire la energia electrică.

Evoluția profesională și competențele profesionale în domeniul electric sunt obiectul următorului capitol. Experiența acumulată în cei 11 ani de producție (1982-1993) a fost benefică din momentul angajării cadru didactic asociat în anul 1988, apoi prin concurs titular din 1993. Activitățile desfășurate în colectivitatea academică, în cei aproape 30 de ani, mi-au permis să mă dezvolt pe plan profesional și științific. Am participat la cursuri de perfecționare cu caracter didactic și managerial, am dezvoltat elemente de cercetare legate de educația științifică și inginerescă. Am promovat spiritul colectiv până la prietenie în Departamentul de Electrotehnică și în facultate. La catedră, cu studenții, am urmărit transmiterea competențelor profesiei, dar și șlefuirea tinerelor caractere, pentru a fi bine pregătiți pentru viață reală.

Am promovat facultatea și preocupările noastre în mediul preuniversitar, la universitățile din țară și străinătate, precum și la administrațiile locale și județene.

Prin colaborarea intensă, inițierea de parteneriate durabile cu firme din mediul privat, cu instituțiile publice, cu colectivele de cercetători din universități din țară și străinătate, vom putea doar împreună să contribuim la evoluția economică și la prosperitatea din regiunea istorică Bucovina.

La baza elaborării acestei teze au stat atât propriile cărți, lucrări, brevete, contracte de cercetare, precum și articole apărute în publicații de specialitate, consacrate în domeniu.

La final se găsește capitolul bibliografic ce conține referințele minimale care trimit la aspectele prezentate în teza de abilitare.