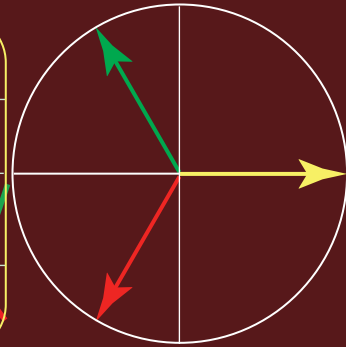
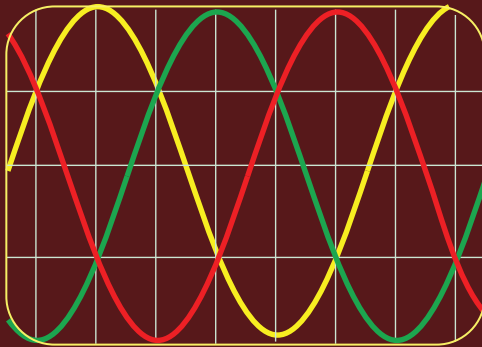


S.Masiokas

Elektro technika



VADOVĒLIS
AUKŠTOSIOMS
MOKYKLOMS

Kaip
studijuoti
elektrotechniką.
Pratarmė.
Įvadas.

1



Nuolatinės srovės
grandinės

2



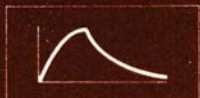
Kintamosios srovės
vienfazės grandinės

3



Kintamosios srovės
trifazės grandinės

4



Pereinamieji procesai
tiesinėse elektrinėse grandinėse

5



Magnetinės grandinės
ir elektromagnetiniai įtaisai

6



Elektronikos
elementai

7



Elektronikos
įtaisai

8



Elektriniai
matavimai

9



Transformatoriai

10



Nuolatinės
srovės mašinos

11



Asinchroninės
mašinos

12



Sinchroninės
mašinos

13



Elektros
pavaros



VADOVĖLIS AUKŠTŲJŲ MOKYKLŲ STUDENTAMS

Šio vadovėlio leidimą parėmė:

Lietuvos Valstybinė Energetikos Sistema,
Valstybinė įmonė „BANGA“,
Lietuvos akcinis inovacinis bankas

S. Masiokas

Kauno technologijos universiteto
Bendrosios elektrotechnikos katedros profesorius

Elektrotechnika

Vadovėlis aukštųjų mokyklų studentams

Antrasis pataisytas ir papildytas leidimas



Kaunas „Candela“ 1994

Stanislovas Masiokas. Electrical Engineering: Textbook for technological universities' students of non-Electrical specialities. The second edition, amended and supplemented. — Kaunas: "Candela", 1994 — 432 p.

This textbook includes chapters on electrical and magnetic circuits, electronic elements and devices, electric measuring instruments and methods, transformers, electric machines and electric drive. The book is notable for its vast amount of illustrations. It contains a lot of practical advises, exercises and "teach-yourself" questions.

The illustrations and their colors are chosen to increase vividness and ease the comprehension and learning of the subject. The method used is to optimize presentation of visual information. The principles used in making graphs stimulate professors to use the visual teaching aids. The book is handy for a fast search of information. The main concepts, notions and formulas are made distinct.

The textbook is designed for technological university students of non-Electrical specialities. It may be useful for high school teachers and engineers of non-Electrical specialities.

Масёкас Станисловас. Электротехника. Учебник для студентов неэлектротехнических специальностей. 2-ое изд., перераб. и доп. — Каунас: "Кандела", 1994 — 432 с.

В книге рассмотрены электрические и магнитные цепи, электронные приборы и устройства, приборы и методы электрических измерений, трансформаторы, электрические машины и электропривод. Книга отличается изобилием иллюстрационного материала, представлено немало практических примеров использования электротехнических устройств.

Построение иллюстрационного материала и выбор его цветности способствуют повышению наглядности, облегчению восприятия и усвоения материала. В некоторых случаях учтены требования метода оптимального прироста информации. Принципы построения графического материала стимулируют использование визуальных технических средств обучения. В книге созданы условия оперативного поиска информации, выявлены основные мысли, понятия, формулы.

Учебник предназначен для студентов неэлектротехнических специальностей. Он может быть полезным преподающим электротехнику в техникумах, а также инженерам неэлектротехнических специальностей.

Pirmojo leidimo recenzentai
KPI Klaipėdos fak. Elektrotechninių disciplinų
katedros vedėjas prof. SIGITAS KUDARAUSKAS
ir VISI Elektrotechnikos katedra

ISBN 9986 – 400 – 00 – 7

© Stanislovas Masiokas, 1989

© Pataisymai ir papildymai, Stanislovas Masiokas, 1994

Antrojo leidimo pratarmė

Pirmąjį vadovėlio leidimą, išėjusį 1989 metais, labai gerai įvertino ir recenzentai, ir dėstytojai, ir, kas itin džiugu, studentai. Tačiau labai džiaugtis šio nemažo darbo vaisiais negalėčiau. Vadovėlyje vis dėlto nepavyko išvengti įvairios kilmės klaidų ar klaidelių. Atsižvelgiant į nemažą apimtį ir sudėtingą gamybos technologiją, tai visai natūralu, bet skaitytojams jos sudaro keblumą.

Kita priežastis, paskatinusi nedelsiant leisti antrąjį leidimą, yra ta, kad pirmojo leidimo tiražas buvo aiškiai nepakankamas, nes tokia literatūra domisi ne tik studentai, bet ir nemažai techniškiosios inteligentijos.

Naudodamasis proga norėčiau nuoširdžiai padėkoti "Mokslo" leidyklos darbuotojams Elenai Juškienei, Ritai Klimkienei, Juozui Stoniui, Elvyrai Volkienei, Isakui Zibucui ir ki-

tiems, kurie noriai ir energingai, nevengdami papildomo darbo, padėjo autoriui realizuoti jo sumanymus leidžiant šio vadovėlio pirmąjį leidimą.

Rengdamas vadovėlio antrąjį leidimą, kai ką pakeičiau, pataisiau ir papildžiau. Atsižvelgiau į dėstytojų ir studentų bei pirmąjį leidimą recenzavusių kolegų papildomas pastabas bei patarimus, už kuriuos esu visiems labai dėkingas. Tikėdamasis, kad visi, kam rūpi lietuviška mokytojų literatūra, savo patarimais ir toliau padės ją gerinti, vėl laikiu pastabų ir pasiūlymų. Juos prašom siųsti autoriui Kauno technologijos universiteto adresu.

Autorius

Iš pirmojo leidimo pratarmės

Elektrotechnika — tai vienas iš fundamentaliųjų technikos mokslų, todėl ši disciplina dėstoma visų inžinerinių neelektrotechniškųjų specialybių studentams. Elektrotechnikos žinios būtinos studijuojant daugelį šiuolaikinių specialybių disciplinų, praktiškai reikalingos įvairių sričių inžinieriams. Išstudijavęs elektrotechniką inžinierius neelektrikas turėtų būti teoriškai ir praktiškai taip pasirengęs, kad galėtų: tinkamai parinkti elektros įrenginius ir juos eksploatuoti, tobulinti gamybos technologiją, atsižvelgdamas į elektros įrenginių technines galimybes ir ypatumus, kūrybiškai bendradarbiauti su inžinieriais elektrikai kuriant naujus technologinius įrenginius. Elektrotechnikos studijos ugdo būsimą inžinieriaus loginį mąstymą, išradingumą, kūrybiškumą.

Elektrotechnikoje, kaip ir daugelyje kitų technikos mokslų, galima išskirti dvi sudėtines dalis. Viena iš jų yra pamatinė, kurią sudarantys teiginiai pasitvirtino per ilgą elektrotechnikos, kaip mokslo, egzistavimo

laiką. Juk ir sparčiausiai besivystančioje technikos mokslo srityje anksčiau ar vėliau galima išskirti stabilius jos pamatus, tą apatinę ledkalnio dalį, kuri net karščiausių naujovių vėjų gairinama ilgai išlieka maža ir pakitusi.

Prie pamatinės elektrotechnikos dalies būtų galima priskirti elektrinių ir magnetinių grandinių dėsnius ir tyrimo metodus, elektronikos elementų ir įtaisų, elektros mašinų veikimo principus. Pavyzdžiui, dar praeito šimtmečio kūrinys — asinchroninis variklis — iki šių dienų iš esmės liko nepakitęs, nors, patobulinus technologiją ir konstrukciją, jo savybės labai pagerėjo. Elektronikos elementų bazė sparčiai kinta, tobulėja jų parametrai, todėl gerėja lygintuvų bei stiprintuvų savybės, tačiau jų veikimo principai išlieka tie patys.

Kita elektrotechnikos dalis yra sparcios mokslo ir technikos raidos rezultatas. Tai teorija ir praktika, susijusi su naujų įrenginių kūrimu tobulinant konstrukciją, technologiją, medžiagas, diegiant kitų mokslo ir

technikos sričių laimėjimus. Šios sparčiai kintančios, greitai senstančios ir lėtai besikristalizuojančios informacijos neįmanoma perprasti neišstudijavus pamatinės elektrotechnikos. Antra vertus, dėstant vien tik mokslo naujienas, atsiranda pavojus, kad ką tik baigusio aukštąją mokyklą specialisto žinios gali būti jau senstelėjusi informacija.

Rengdamos šį vadovėlį, autorius stengėsi pakankamai išsamiai ir suprantamai išdėstyti fundamentaliuosius elektrotechnikos klausimus, jų taikomąjį pobūdį iliustruodamas šiuolaikinio mokslo ir technikos rezultatais. Pakankamai tvirtos fundamentaliosios žinios ir sugebėjimas jas savarankiškai taikyti yra kiekvieno specialisto tolesnio mokslinio ir techninio tobulėjimo pagrindas.

Elektrotechnika yra viena iš seniausiai dėstomų Lietuvos aukštosiose mokyklose techninių disciplinų. Šį kursą, įkūrus 1922 m. Kauno universitete Elektrotechnikos katedrą, neelektriškųjų specialybių studentams skaitė pirmasis šios katedros vedėjas profesorius Jeronimas Šliogeris, išleidęs ir pirmuosius mokomuosius elektrotechnikos leidinius lietuvių kalba.

1940 m. Elektrotechnikos katedra išaugo į keturias. Joms vadovavo gabūs mokslininkai ir pedagogai profesoriai L. Kaulakis, V. Jakovickas, docentai A. Putrimas, J. Stanaitis, J. Kauras, J. Zdanys. Tai jų ir jų įtakoje išugdytos ne vienos elektrikų kartos dėka tobulėjo lietuviškoji elektrotechnikos terminija, formavosi dėstymo metodika, toliau sparčiai plėtojosi elektrotechnikos mokslai. Vien tik Kauno politechnikos institute* šiuo metu yra 18 elektrotechninio profilio katedrų.

Per tą laiką išaugo klausytojų kontingentas, daug griežtesni tapo reikalavimai elektrotechnikos dėstymui, dėstoma daugiau ir įvairesnių klausimų, nors elektrotechnikos kursui skirtas laikas sutrumpėjo. Šiame vadovėlyje medžiaga dėstoma laikantis aukštųjų mokyklų programos ir įvertinant jau susiformavusių elektrotechnikos dėstymo metodiką Lietuvoje. Iš esmės vadovėlio medžiaga apima svarbiausius bent penkių specialiųjų katedrų disciplinų klausimus, todėl teko daug dėmesio skirti ne tik dėstomos medžiagos atrankai, bet ir jos apibendrinimui.

Derindamas įvairių dydžių raidinius žymenis bei indeksus, autorius stengėsi laikytis Lietuvoje veikiančių standartų bei Tarptautinės elektrotechnikos komisijos rekomendacijų. Stengiantis, kad indeksai būtų lakoniški, nepavyko išvengti vieno kito atvejo, kai tuo pačiu indeksu skirtinguose skyriuose yra pažymėti du nevienareikšmiai dydžiai.

Atsižvelgdamas į tai, kad kai kuriems studentams elektrotechnikos kursas yra viena iš sunkesnių disciplinų, autorius ieškojo būdų, kaip padėti suvokti ir įsiminti medžiagą. Norint įdiegti perimamumo principą, stengiasi laikytis dėstymo principo "nuo paprasto prie sudėtingo", "nuo atskiro prie bendro". Dėl to, kur tik įmanoma, buvo laikomasi, pavyzdžiui, tokio nuoseklumo: pradžioje įrenginio veikimo principas aiškinamas naudojantis jo supaprastinta sandara, ir tik po to, kai paaiškėja kiekvienos dalies paskirtis ir jai keliami reikalavimai, parodoma detalesnė įrenginio konstrukcija, bet jos neužgožiant mažiau svarbiomis detalėmis. Pažymėtina, kad tokia dėstymo tendencija pastebima jau pirmuosiuose lietuviškuose elektrotechnikos vadovėliuose.

Skirtingai negu specialiojoje elektrotechniškoje literatūroje, atsakyta kai kurių smulkių matematinių įrodymų, praleidžiami algebrinių perstatinėjimų bei diferencijavimo ir integravimo veiksmai, diferencialinių lygčių sprendimai, o lygios nuliui integravimo konstantos po integravimo veiksmų nenagrinėjamos ir visiškai neberašomos.

Visuose knygos skyriuose priimta vieninga šaltinio ir imtuvo srovės, įtampos bei elektros jėgos sutartinių kryptų sistema. Induktyvumo rityje indukuotos elektros jėgos matematinė išraiška užrašyta ir sutartinė kryptis schemose pažymėta, atsižvelgiant į diskusijos rezultatus**.

Nuostabi gamtos dovana — matyti spalvotą vaizdą — ir labai išlavėjusi regimoji atmintis — tai bene svarbiausios prielaidos žmogui sparčiai suvokti ir įsiminti vizualinę informaciją. Šias žmogaus ypatybes, remdamasis fiziolo-

** Diskusija šiuo klausimu buvo pradėta dar 1985 m. Svarbiausias išvadas ir literatūros sąrašą žr.: 1. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 1987, № 1. с. 124. 2. Электричество. 1986, № 5. с. 43 — 47. 3. Электричество. 1987, № 7. с. 70 — 73. 4. Электричество. 1988, № 7. с. 72 — 80.

* Nuo 1990 m. Kauno technologijos universitetas.

ginės optikos ir inžinerinės psichologijos pagrindais, autorius stengėsi išnaudoti mokymui tobulinti. Jau keliolika metų plačiai naudodamas vizualines mokymo priemones elektrotechnikai dėstyti, ieškodamas būdų, kaip padidinti dėstyto vaizdumą ir efektyvumą, autorius įgijo tam tikrą patirtį*, kurią bandė pritaikyti rengdamas šį vadovėlį.

Aiškinimus lydi paveikslas, schema ar dydžių loginės sekos užrašas, todėl studijuojant kursą aktyviai veikia regimoji-vaizdinė atmintis, o kartojant medžiagą nebūtina skaityti visą tekstinę dalį. Kai kurie paveikslai yra specialiai išskaidyti — nuosekliai papildyti ar, atvirkščiai, supaprastinti, kad informacijos perteklius netrukdytų ją suvokti. Paveikslai talpinami parašėse greta teksto.

Paveikslų spalvos parinktos laikantis fiziologinės optikos rekomendacijų ir atsižvelgiant į tai, kad elektrotechnikos kursą būtų paranku ekranizuoti. Spalvos panaudotos įvairiais tikslais. Dažniausiai spalvomis įvairinama svarbiausia aiškinamoji mintis. Kitais atvejais spalva tampa kodu arba tokią spalvą rekomenduoja standartas. Pavyzdžiui, nuolatinės srovės ir kintamosios srovės vienfazių grandinių schemose ir vektorinėse diagramose taikytas toks spalvinis kodas: įtampa pažymėta raudonai, srovė — žaliai, magnetinis srautas — geltonai. Trifazių grandinių schemose ir vektorinėse diagramose kiekvienos fazės elementai ir dydžių vektoriai nuspalvinti standarto nurodytomis spalvomis.

Kadangi spalvų skaičius yra ribotas, tai pati spalva gali atlikti kelias, autoriaus nuomone, skaitytojui nesunkiai suvokiamas funkcijas. Galima tikėtis, kad taip parengta vadovėlio grafinė medžiaga palengvins darbą kolegoms, taikantiems vizualines mokymo priemones elektrotechnikai dėstyti.

Visuotinio skubėjimo epochoje labai svarbu, kad vadovėlio medžiagą būtų galima išstudijuoti per kuo trumpesnę laiką. Todėl informacija pateikta taip, kad būtų sparčiai surandama, greitai suvokiama ir dar greičiau pakar-

tojama. Tuo tikslu knygoje sudaryta pagerinta informacijos paieškos sistema, išryškintos svarbiausios mintys, sąvokos, formulės.

Knygoje spalva paryškintas tekstas sudaro tarsi lakonišką turinio konspektą. Pusjuodžiais rašmenimis atspausdinti pavadinimai ir teksto žodžiai, atstojantys papildomus pavadinimus, kurie neatspindėti turinyje. Šone statmenu žaliai brūkšniu pabrėžiamos svarbiausios mintys ir jų aiškinimai.

Petitu vadovėlyje surinkti: a) pavyzdžiai ir jų sprendimai; b) papildomi aiškinimai išsamėms studijoms; c) informacija, reikalinga tik kai kurių specialybių studentams; d) kontroliniai klausimai ir užduotys.

Visą vadovėlio rankraštį recenzavo prityręs KPI Bendrosios elektrotechnikos katedros docentas Jonas Jasinskas, didelės erudicijos KPI Klaipėdos fakulteto Elektrotechninių disciplinų katedros vedėjas profesorius Sigitas Kudarauskas, taip pat daug metų elektrotechniką dėstantys kolegos — VISI Elektrotechnikos katedros vedėjas docentas Gediminas Valiukėnas, docentai Jurgis Šliogeris, Valentiną Zaveckas ir Zigmąs Jankauskas. Be to, atskirus vadovėlio skyrius recenzavo didelę pedagoginę patirtį turintys aukštą profesinį lygį pasiekę KPI specialiuųjų katedrų docentai Povilas Vaidotas Pukys (1 — 5 ir 8 skyrius), Genovaitė Jasinevičienė (6 — 7 skyrius), Stasys Marazas (9 — 12 skyrius), Vilius Geleževičius (13 skyrių). Gavęs kvalifikuotą ir geranorišką recenzentų pagalbą, autorius išvengė daugelio netikslumų ir vadovėlis visais atžvilgiais pagerėjo. Už tai autorius visiems recenzentams nuoširdžiai dėkingas.

Rengiant vadovėlio rankraštį didžiulį darbą atliko KPI Bendrosios elektrotechnikos katedros doc. Kristina Masiokienė, principingai oponuodama knygos rankraštį, jį kūrybiškai ir kruopščiai redaguodama bei dalykiškai pertvarkydama pagal recenzentų pastabas.

* Šiuo klausimu autorius kartu su bendraautoriais yra paskelbęs daugiau nei dvidešimt mokslinių publikacijų, aprobuotų įvairiose mokslinėse konferencijose. Plačiau apie tai žr. leidinį: С.Масѣкас, К.Масѣкене. Статическая экранизация учебного процесса. Каунас, 1982.

Keletas patarimų, kaip studijuoti elektrotechniką (ir ne tik ją)

Aukštoji mokykla turi ne tik suteikti konkrecių žinių, bet ir išmokyti optimaliai jų siekti. Deja, dažnai nekreipiama dėmesio į tai, kaip svarbu studentui išmokti studijuoti. Norėčiau, kad elektrotechnikos studijos Jums būtų kartu ir studijų metodikos pamokos, kad elektrotechnikoje sugebėtumėte pamatyti bendresnius dalykus: ne tik išmoktumėte Omo ar Kirchhofo dėsnius, bet ir suprastumėte, jog tai — ne vien elektrotechnikos dėsniai, o pereinaujieji procesai vyksta ne tik elektrinėse grandinėse.

Siame vadovėlyje išdėstytoji elektrotechnika nėra sudėtingas mokslas, kuriam studijuoti reikia ypatingų gabumų. Ir vis dėlto mokyti bus sparčiau ir įdomiau, jei bent kiek tam pasirengsite.

Pirmoji pažintis — imate į rankas vadovėlj. Pradžioje perskaitykite tik skyrių pavadinimus, pasistenkite suvokti jų prasmę. Pavartykite knygą, pažiūrėkite į brėžinėlius. Be abejo, suprantama ne viskas, bet Jūs jau pamatysite, koks kurso turinys, kokios jo dalys. Dėl to geriau suprasite įžanginę paskaitą.

Pažintinis knygos pavartymas ir išklausa įžanginė paskaitą — tai tarytum pirmasis kurso "skaitymas". Per pirmąją pažintį jau išdėmėjote nemažai brėžinukų, bet prisiminti ir atkurti jų dar nesugebėsite. Ir visgi vėliau jie bus jau matyti, todėl juos suvokti bus lengviau.

Matome, kad **visą vadovėlio turinį galima padalyti į tris dalis**. Pirmoji — elektrinės ir magnetinės grandinės (I — V skyriai). Tai pagrindas, kurio neįšmokus toliau studijuoti elektrotechniką neįmanoma, kaip neįmanoma skaityti nepažįstant raidžių. Antroji dalis — elektronika ir elektriniai matavimai (VI — VIII skyriai) — daugiau taikomojo pobūdžio. Nagrinėjami nauji elementai ir įtaisai — diodai ir lygintuvai, tranzistoriai ir stiprintuvai, matavimo prietaisai. Juos matome įvairiose laboratorijose, buitiniuose įtaisuose.

Na, ir trečioji — labiausiai susijusi su pramone dalis. Tai konkretūs pramonės elektros įrenginiai: transformatoriai, elektros mašinos, elektros pavaros (IX — XIII skyriai). Juos pamatysite elektrotechnikos ir savo specialybės laboratorijose, įmonėse. Kaip inžinieriui elektrikai, dirbančiam įmonėje, reikia gerai išma-

nyti tos pramonės šakos technologiją, taip inžinieriui neelektrikui reikia orientuotis, kokie elektroniniai įtaisai ar elektros mašinos yra technologiškai įrenginiuose.

Pradedame studijas. Tai nuoseklus, išsamus kurso nagrinėjimas, siekiant giliai suprasti jo turinį. Bet to maža. Reikia protarpiais tarytum pakilti ir pažvelgti iš viršaus į tai, kas padaryta: susisteminti savo žinias, išsiryškinti svarbiausias vietas. Jau bent tam, kad nepaškestumėte smulkmenose ir ne itin svarbiuose išvedžiojimuose.

Pavyzdžiui, Jūs studijuojate nuolatinės srovės grandines. O kas šioje temoje svarbiausia? Svarbiausia tai, kad visus realius imtuvus galime elektrinėse schemose vaizduoti rezistoriais. Juos galime vienaip ar kitaip sujungti, apskaičiuoti arba parinkti darbo režimus. O mokėti reikia visai nedaug — tik Omo ir Kirchhofo dėsnius. Studijuodami šią temą, pakartojate tris iš fizikos žinomus dėsnius, mokotės juos taikyti praktiškai. Žinoma, atsiranda ir naujų terminų, sąvokų. Pastangų reikėjo nedaug, o rezultatas ženklus. Pasižiūrėkite į knygos viršelį. Iš septynių svarbiausių šios knygos formulių tris ne tik jau mokate, bet ir sugebate taikyti. Jei dar ne, tai tikrai sugebėsite. Ir tuo greičiau, kuo daugiau uždavinių išspręsite savarankiškai.

Tačiau viršelyje tos trys formulės užrašytos ne visai taip kaip pirmajame skyriuje. Taigi, atsiverskime antrąjį skyrių — "Kintamosios srovės vienfazės grandinės". Jame taip pat daug kas žinoma iš fizikos, bet naujų sąvokų daugiau, aprašoma naujos imtuvų savybės. Dėsniai tie patys — Omo ir Kirchhofo, bet ir vėl reikia mokytis juos taikyti.

Štai, kad ir I Kirchhofo dėsnis. Kam lygi dviejų srovių suma, jei viena jų yra 3 A, o kita — 4 A? Manote, kad 7 A? Taip, gali būti. Bet gali būti ir 5 A, ir 1 A, ir dar kitaip. Viskas bus aišku, kai sužinosite, kaip srovė apibūdinama ne tik stiprumu, bet ir faze, o veiksmus reikia atlikti su vektoriais arba kompleksiniais skaičiais.

Vadinasi, pirmosios trys viršelio formulės yra universalesnės: jos tinka ne tik nuolatinės, bet ir kintamosios srovės grandinėms tirti. Ir vienų, ir kitų grandinių tyrimo metodika pana-

ši, bet kintamosios srovės grandinėse vyksta sudėtingesni reiškiniai, šias grandines nagrinėti kebliau. Labai svarbu, kad Jūs ne tik viską suprastumėte, bet ir gerai išmoktumėte atlikti veiksmus su kompleksiniais skaičiais, braižyti vektorines diagramas. Taigi ir vėl: spręskite uždavinių ir būtinai — savarankiškai.

O toliau — trifazės grandinės. Jos panašios į vienfazes, kurias jau išstudijavote. Tiesa, čia vienfazės grandinės sujungtos į bendrą trifazę sistemą. Ji turi privalumą, kuriu dėka trifazės grandinės yra ypač svarbios elektros energijos kioje.

Taip galima ir toliau eiti nuo paprastesnio prie sudėtingesnio. Pavyzdžiui, elektronikos elementus galima nagrinėti kaip netiesinius elektrinės grandinės elementus. Tuomet šeštasis skyrius būtų tarytum pirmojo skyriaus tęsinys. Sujungę netiesinius elementus į grandines, galime sudaryti elektronikos įtaisus. Vadinasi, septintajame skyriuje elektronikos įtaisus galime nagrinėti pirmajame ir antrajame skyriuje aprašytais metodais.

Nagrinėdami skyrių po skyriaus, pamatysime, kad jie visi susiję, tolesnieji remiasi ankstesniųjų medžiaga. Vieną pralaidus ar ko nors neišmokus, tos spragos trukdys visoms tolesnėms studijoms.

“Kartojimas — studijų motina”. Beje, kartoti taipogi reikia mokėti. Kiek kartų, kada ir kaip kartoti, kad kartojimas nevirstų įkyriu “kalimu”? Apie tai buvo pagalvota, rašant šią knygą, todėl brėžinėliai spalvoti ir jų daug, o tekstas ir formulės įvairiai paryškinti.

Labai svarbus kartojimas — **studento pasirengimas paskaitai**. Zinau, kad mūsuose tai neįprasta, bet kuo anksčiau įprasite, tuo mažiau laiko reikės studijoms. Paskaitai rengtis geriausia išvakarėse ir tam reikia skirti 15 — 20 minučių. Peržvelkite paskaitos turinį vadovėlyje: perskaitykite pavadinimus, pažiūrėkite į paveikslėlius, paskaitykite parašus po jais ir, žinoma, žalia spalva išryškinkite tekstą. Taip pasirengus paskaita bus žymiai naudingesnė, nes iš karto suvoksite visumą.

Yra žinoma, kad sukaupia atmintyje informacija ilgainiui išblėsta. Jei laiku jos neatgavinsite, gali tecti mokyti vos ne iš naujo. Kad negaištumėte laiko, **antrąjį kartojimą** reikia derinti su kitomis studijų formomis. Svarbu viena: rengiantis pratyboms ar laboratoriniam darbui, atliekant namų ar kitokias užduotis, reikia studijuoti visą skyrelį ar skirsnelį, o ne tik formaliai pasinaudoti vienu ar kitu teiginiu, formule, brėžiniu. Jei kas neaišku, pirmiausia reikia stengtis išsiaiškinti pačiam. Nepamirškite, kad specialiai tam vadovėlyje yra išspręsti

uždaviniai. Išnagrinėję uždavinį, geriau suvoksite vadovėlio tekstą. Jei neaiškumų vis tiek lieka, reikia prašyti dėstytojo konsultacijos. Beprasmiška stengtis įsiminti tai, kas nėra visiškai aišku.

Prieš tarpinius atsiskaitymus — kolokviumus, laboratorinių darbų gynimus, kontrolinius darbus tenka studijuoti vieno ar keleto skyrių medžiagą. Tai labai svarbus studijų etapas, turintis įtakos ir būsimo egzaminato rezultatui. Čia kaip tik gera proga apžvelgti kurso dalį kaip visumą, išskirti tai, kas joje svarbiausia. Tikiuosi, kad sėkmingai pasinaudosite kontroliniais klausimais ir užduotimis, kurie yra po kiekvieno skyriaus. Jei sugebate į juos atsakyti, užvertę vadovėlį ir atsakymus pagrįdami formulėmis, vektorinėmis diagramomis, tai atsiskaitymai netikėtumų nebus.

Taip išstudijavus visą kursą, lieka suvokti jį kaip visumą. Paprastai tam skiriama paskutinė — baigiamoji — paskaita. Joje apibendrinamas visą kursą, dėstytojas padeda pažvelgti į jį plačiau, išryškina tai, kas svarbiausia. Įsitikinkite, kad mokamai naudodamiesi tomis septyniomis knygos viršelio formulėmis, galite paaiškinti ir nagrinėti beveik visus fizinius reiškinius, vykstančius elektrinėse grandinėse ir įrenginiuose.

Lieka paskutinis kartojimas — **pasirengimas egzaminui**. Labai svarbu tinkamai paskirstyti jo laiką. Pradžioje — susipažinimas su egzaminato programos turiniu (apie 10 % laiko). Svarbiausias darbas — išsamios visos medžiagos studijos (apie 60 % laiko). Jei per semestrą dirbote sistemingai, dabar galėsite pasidžiaugti, kad didžioji dalis medžiagos žinoma. Paskutinį kartą ją pakartokite, būtinai užvertę vadovėlį ir susidarydami planelį, ką reikėtų atsakinėti vienu ar kitu klausimu. Čia verta surašyti visas reikalingas formules, nubraižyti brėžinukus ar vektorines diagramas. Šiam baigiamajam kartojimui skirkite apie 25 % laiko. Ir, pagaliau, paskutinė sparti kurso peržvalga, užimanti apie 5 % egzaminui pasirengti skirto laiko.

Taip reikėtų studijuoti ne tik elektrotechniką, bet ir kitus inžinerinius dalykus. Tada Jūsų žinios nebus laikinos, erudicija plėsis, mąstysena tobulės. Įgijus visam laikui fundamentalių elektrotechnikos žinių, Jūsų būsimasis darbas su inžinieriumi elektriku, kuriant ir diegiant naujas technologijas ar įrenginius, bus sklandus ir sėkmingas, Jūs sugebėsite tobulėti savarankiškai. O toks ir yra studijų tikslas.

Linkiu sėkmės.

Autorius

Įvadas

Žmonija nežino ir neturi patogesnės, higieniškesnės ir universalesnės energijos kaip elektros energija. Ją galima perduoti tolimais atstumais, lengva paversti kitos rūšies energija. Pagamintas elektros energijos kiekis yra laikomas vienu iš svarbiausių valstybinės ūkinės veiklos rodiklių, todėl paprastai rašomas statistinių suvestinių lentelių pirmoje eilutėje.

Elektrotechnika – tai technikos mokslo šaka, apėrianti elektrinių ir magnetinių reiškinių teoriją ir jų praktinį taikymą. Šiuolaikinėje elektrotechnikoje galima išžvelgti dvi pagrindines kryptis – energetinę ir informacinę. Kiekvieną iš jų savo ruožtu galima išskaidyti į smulkesnes sritis, iš kurių nemaža dalis jau pripažįstamos atskirais elektrotechniškaisiais mokslais.

Energetinė elektrotechnika nagrinėja problemas, susijusias su elektros energijos gamyba, jos perdavimu ir vartojimu, pavertus ją kitos rūšies energija, pavyzdžiui, mechanine, šilumine, šviesos (elektros pavaros, elektrotermija, šviesos technika). Medžiagoms apdirbti gali būti naudojama elektros energija (elektrotechnologija: elektrochemija, elektroerozija, elektrinis suvirinimas ir kt.) arba elektronų ar jonų srautai (eljonika).

Informacinė elektrotechnika nagrinėja problemas, susijusias su elektros energijos pakeitimu informacijos signalais, jų transformacija, laikymu ir perdavimu (automatika, elektronika, elektriniai ryšiai, skaičiavimo technika).

Visos elektrotechnikos sritys yra glaudžiai susijusios ir neretai sunku nustatyti jų tarpusavio ribas. Jų įtaisai sudaro tam tikrą, organiškai neatskiriamą dalį įvairiausių šiuolaikinių technologinių įrenginių. Antra vertus, kuriant įvairius ir labai skirtingus įrenginius, yra pritaikomi panašūs elektriniai ir magnetiniai reiškiniai, jų dėsniai. Peržvelgsime svarbesnius **elektrotechnikos istorinės raidos bruožus***.

Elektriniai ir magnetiniai gamtos reiškiniai buvo tiriama jau nuo seno. Iki XIX šimtmečio mokslininkų dėmesį labiausiai patraukė tais laikais tyrimams prieinamiausi elektrostatikos reiškiniai. Šioje srityje svarbių rezulta-

* Šiuo klausimu yra nemažai išsamesnių literatūros šaltinių. Besidominčiam skaitytojui siūlytume susipažinti su šiais: 1. *Веселовский О. Н., Шнейберг Я. А. Энергетическая техника и ее развитие.* М., 1976. 2. Lietuvos energetika / *J. Stankus, J. Jurginis, V. Purnas* ir kt. V.: Mokslas, 1982. T. 1.

tų yra pasiekę V. Gilbertas, B. Franklinas, G. Richmanas, Š. Kulonas. Tai jų bei daugelio kitų mokslininkų ir išradėjų dėka buvo sukurtos pirmosios elektrosstatinės mašinos, elektrinio krūvio kaupiklis – Leideno stiklinė, pradėta matuoti elektrosstatinį krūvį Kulono svarstyklėmis. Įdomu pastebėti, kad pagal Vilniaus universiteto profesorius Tomo Žebrausko „...projektą buvo pagaminta elektros mašina, kuri veikė, matyt, trinties principu. 1753 m. Vilniaus visuomenei buvo demonstruojama šios mašinos įskeliamas kibirkštis – mikrožaibas“*.

Paskutinį XVIII a. dešimtmetį labai didelio susidomėjimo susilaukė biologiniai L. Galvanio eksperimentai. Nors jis pats juos aiškino neteisingai, tai buvo jau paskutinis žingsnis elektrocheminio srovės šaltinio kūrimo kelyje. Iš principo naujas elektrinių reiškinių tyrimo etapas pradėtas 1800 m., kai A. Volta paskelbė sukūręs elektrocheminį elektros srovės šaltinį – Voltos stulpą, galintį sukelti gana didelę įtampą. Šis labai reikšmingas įvykis atvėrė naują – elektrodinamikos – erą. Pradėta plačiai tirti elektros srovė ir jos sukeliama įvairūs fizikiniai reiškiniai.

XIX a. pirmojoje pusėje mokslas apie elektrą toliau buvo plėtojamas trimis kryptimis. Pirmoji – tai įvairių elektros srovės sukeliamų reiškinių atradimas ir tyrimai. Mokslininkai pastebi, tiria ir aprašo tokius svarbiausius reiškinius: šiluminius – 1800 m. A. Furkrua; šviesinius – 1801 m. L. Tenaras ir N. Gotro; elektros lanką – 1802 m. V. Petrovas ir 1810 m. H. Deivis; magnetinius – 1820 m. G. Erstedas; elektrocheminius – 1807 m. H. Deivis, 1833 m. M. Faradėjus.

Susikaupus daug eksperimentinės medžiagos, ėmė ryškėti antroji kryptis: buvo formuluojami svarbiausieji elektrotechnikos dėsniai, reiškiniai aprašinėjami matematiškai (žr. lentelę). Tai kertiniai akmenys pamatų, ant kurių vėliau išaugo visa vėlesnė elektrotechnikos teorija ir praktika.

Greta elektrinių bei magnetinių reiškinių stebėjimų ir jų apibendrinimų atsirado trečiosios – praktinio elektros srovės taikymo krypties – užuomazgos. Buvo gauti tam tikri praktiniai efektai, mėginant panaudoti elektros lanką apšvietimui, dėtos pastangos sukurti kaitinamąją lempą, elektros variklį bei elektromechaninį generatorių. Didesnės praktinės vertės šie ir daugelis kitų darbų neigavo. Sėkmingiau elektros srovė buvo taikoma elektros ryšiui – telegrafui (1832 m. P. Šilingas; 1837 m. S. Morzė).

Reikšmingiausi elektrotechnikos raidai teoriniai darbai

- Š. O. KULONAS 1785
Taškinių elektros krūvių sąveikos dėsnis
- A. M. AMPERAS 1820
Elektros srovių sąveikos dėsniai
- G. S. OMAS 1826
Laidininko varžos, srovės ir įtampos ryšio dėsnis
- A. M. AMPERAS 1826
Elektrodinamikos teorija
- M. FARADĖJUS 1831
Elektromagnetinės indukcijos dėsnis
- DŽ. P. DŽAULIS 1841
- E. LENCAS 1842
Išskirto laidininke šilumos kiekio dėsnis
- G. KIRCHHOFAS 1845
Sudėtingųjų elektrinių grandinių srovių bei įtampų pasiskirstymo dėsniai
- DŽ. K. MAKSELIS 1864–1873
Elektromagnetinio lauko teorija
- Č. P. STEINMECAS 1893
Matematinis kintamosios srovės grandinių tyrimo metodas, taikant kompleksinius dydžius

* Lietuvos energetika... P. 53.

XIX šimtmečio viduryje pastebimos įvairių šalių mokslininkų pastangos sukurti pakankamai galingą ir tinkamą praktiškai naudoti elektros energijos šaltinį. Kuriant įvairias technines konstrukcijas, buvo pastebėti ir aprašyti įvairūs reiškiniai, vykstantys elektros mašinose. Didžiausią reikšmę toliau kuriant generatorius turėjo susižadinimo principo atradimas (1867 m. – E. Zymensas, Č. Vytstonas). Tais pačiais metais šį principą ir jo sąlygas matematiškai aprašė Dž. Maksvelis, bet jo darbas tais laikais didesnės įtakos elektros mašinų likimui neturėjo, nes buvo parašytas tų laikų inžinieriams ir išradėjams pernelyg sudėtinga matematine kalba.

Svarbiausiu šio laikotarpio įvykiu yra laikomas tinkamo praktiškai naudoti elektromechaninio generatoriaus sukūrimas (1869–1871 m., Z. Gramas). Tai buvo elektromagnetinis susižadinantis nuolatinės srovės generatorius – šiuolaikinių generatorių prototipas.

Gramo generatorius buvo naudojamas ir kaip variklis, bet, svarbiausia, jo techninės galimybės sudarė sąlygas pradėti plačiai naudoti elektros energiją praktiniams tikslams. Laikoma, kad nuo Gramo generatoriaus elektrotechnika pradėjo formuotis kaip atskira technikos mokslo šaka. Sukūrus generatorių, atsirado stiprus akstinas kurti elektros energijos imtuvus. XIX šimtmečio pabaigoje tam jau buvo visos teorinės ir eksperimentinės prielaidos. Tuo laiku elektriniai dydžiai jau buvo gana tiksliai matuojami, pasiūlyta absoliutinė elektrinių ir magnetinių vienetų sistema (V. Vėberis). Įvairių autorių eksperimentiniai duomenys bei M. Faradėjaus idėjos Dž. Maksvelio dėka įgavo griežtą matematinę formą ir tapo klasikine elektromagnetinio lauko teorija. Eksperimentiškai buvo patvirtinta, kad elektromagnetinės bangos realiai egzistuoja (1888 m. H. Hercas), pasiūlytas matematinis metodas kintamosios srovės grandinėms tirti taktant kompleksinius skaičius (1893 m. Č. Steinmecas*).

Jau aštuuntojo dešimtmečio pabaigoje buvo sukaupta tiek teorinių ir praktinių tyrimų rezultatų, kad reikėjo sušaukti Pirmąjį tarptautinį elektrotechnikų suvažiavimą. Jis įvyko 1881 m. Paryžiuje, kur kartu buvo surengta ir Pirmoji tarptautinė 15 šalių elektrotechnikos ekspozicijų paroda (nuo 1851 m., kai buvo pradėtos rengti tarptautinės technikos ir pramonės parodos, ir iki 1881 m. elektrotechnikos ekspozicijai sudarydavo vis didesnę visų ekspozicijų dalį). Pirmojo suvažiavimo metu buvo priimta absoliutinių elektrotechnikos vienetų sistema (svarbiau-

Mokslininkai ir išradėjai, kurių darbai turėjo didžiausios įtakos elektrotechnikos raidai

- GILBERTAS (Gilbert) Viljamsas
1544–1603
FRANKLINAS (Franklin) Bendžamenas
1706–1790
RICHMANAS Georgas Vilhelmas
1711–1753
KULONAS (Coulomb) Šarlis Ogiustenas
1736–1806
GALVANIS (Galvani) Luidžis
1737–1798
VOLTA Aleksandras
1745–1827
PETROVAS Vasilijus
1761–1834
AMPERAS (Ampère) André Mari
1775–1836
ERSTEDAS (Oersted) Hansas Kristianas
1777–1851
DEIVIS (Davy) Hamfris
1778–1829
ŠILINGAS Pavelas
1786–1837
OMAS (Ohm) Georgas Simonas
1787–1854
FARADĖJUS (Faraday) Maiklis
1791–1867
MORZĖ (Morse) Samjuelis Finlis Bryzas
1791–1872
HENRIS (Henry) Džozefas
1797–1878
JAKOBIS Borisas (Moricas) Hermanas
1801–1874
VYTSTONAS (Wheatstone) Čarlasas
1802–1875
LENCAS Emilijus
1804–1865
VĖBERIS (Weber) Vilhelmas Eduardas
1804–1891
fon ZYMENSAS (von Siemens) Ernstas Verneris
1816–1892
DŽAULIS (Joule) Džeimsas Preskotas
1818–1889
KIRCHHOFAS (Kirchhoff) Gustavas
1824–1887
GRAMAS (Gramme S.) Zenobas
1826–1901

* Šio vokiečių kilmės mokslininko pavardė lietuviškai transkribuota pagal tai, kaip ji buvo rašoma ir tariama JAV, kur Č. Steinmecas pradėjo dirbti ir pragyveno visą turiningą kūrybinį gyvenimą.

sių elektrinių dydžių vienetais – amperui, omui, voltui, kulonui – jau pradėjome skaičiuoti antrąjį šimtmetį).

Iš pradžių elektros energija ypač plačiai vartota apšvietimui. Tai buvo pati efektingiausia ir visuomenei suprantamiausia elektros energijos naudojimo sritis. Iki to laiko įvairūs mokslininkai ir išradėjai ilgai ieškojo būdų, kaip sukurti elektrinį šviesos šaltinį (1854 m. – H. Gėbelis, 1860 m. – Dž. Svenas, 1872 m. – A. Lodyginas), kol po ilgų ieškojimų buvo sukurtos praktiškai vartoti tinkamos P. Jabločkovo žvakė (1876 m.) ir T. Edisono kaitinamoji lempa (1879 m.). Tai buvo pasaulinė sensacija ir naujos techninės epochos pradžia. Labai senas šio efekto atgarsis yra dar ir dabar išlikę, pavyzdžiui, tokie posakiai: „Nėra šviesos, todėl neveikia šaldytuvas (...laidynė, televizorius ir pan.)“. Apie elektrinio apšvietimo sudarytą įspūdį yra užrašyta daugelio įvairių šalių liudinių prisiminimų.

Pirmoji elektrinė Lietuvoje buvo įrengta 1892 m. Rietave G. Oginskio dvare. Jos energija buvo panaudota dvaro rūmams, parkui, ūkiniams pastatams, Rietavo bažnyčiai ir turtingesnių miestiečių butams apšviesti. Šį įvykį taip prisiminė buvęs G. Oginskio tarnas J. Kalnikas: „Kuomet iš elektrinės tiesė laidus į dvaro rūmus, žmonės stebėjosi, kaipgi čia bus, kad ugnis kūrensis viename laidų gale – elektrinėje, o šviesa švies kitame gale – dvaro rūmuose. Kada vyrai pamatė šviečiančią elektros lempuotę, vieni ją bandė užpūsti, kiti – prie jos pypkes uždegti, treči – bijojo prisitarti... O kai užsidegė elektra bažnyčioje, į Rietavą važiuodavo pažiūrėti šitos šviesos iš visų Žemaitijos kampų“*.

Nuolatinės srovės energija pradėta vartoti ne tik apšvietimui. Pramonėje jau buvo naudojami nuolatinės srovės varikliai. Jų mechaninės charakteristikos tenkino tuometinės pramonės poreikius. Atrodė, kad visos principinės problemos jau išspręstos, – belieka tik tobulinti elektros mašinų konstrukciją.

Antra vertus, daugelis mokslininkų ir išradėjų suvokė, kad kintamosios srovės šaltiniai turėtų būti paprastesni, todėl ir toliau buvo kuriami kintamosios srovės generatoriai. Vienfaziai generatoriai plačiau nepaplito. 1887–88 m. buvo sukurtas dvifazis generatorius ir variklis, dvifazio sukamojo magnetinio lauko teorija (G. Feraris, N. Tesla). Ypač plačiai imta taikyti trifazė srovė, M. Dolivai-Dobrovolskiui sukūrus trifazius generatorių (1888 m.), asinchroninį variklį su narvelio tipo rotoriumi (1889 m.) ir

MAKSVELIS (Maxwell) Džeimsas Klarkas
1831–1879
EDISONAS (Edison) Tomas Alva
1847–1931
FERARIS (Ferrari) Galilėjas
1847–1897
JABLOČKOVAS Pavelas
1847–1894
LODYGINAS Aleksandras
1847–1923
TESLA Nikola
1856–1943
HERCAS (Hertz) Heinrichas
1857–1894
DOLIVA-DOBROVOLSKIS
Michailas
1862–1919
STEINMECAS (Steinmetz) Čarlsas
Protėjas
1865–1923

* Lietuvos energetika... P. 55.

transformatorių (1890 m.), taip pat pademonstravus pirmąją trifazę elektros energijos perdavimo 170 km liniją (1891 m.).

Kai 1891 m. Frankfurte prie Maino vyko Tarptautinis elektrotechnikų suvažiavimas ir elektrotechnikos pasiekimų paroda, „...pasaulyje jau veikė 1,4 tūkst. įvairios galios elektrinių, 2,4 mln. km elektros tiekimo linijų, degė 1,5 mln. kaitinamųjų elektros lempų“*. Daugelio įvairių šalių mokslininkų bei išradėjų pastangų prireikė tam, kad elektros energija tarnautų žmogui. Žmonijai įžengus į XX šimtmetį, kuri tada vadino „elektros amžiumi“, daugelyje valstybių prasidėjo elektrifikacija, tapusi pažangos ir kultūros stimulu.

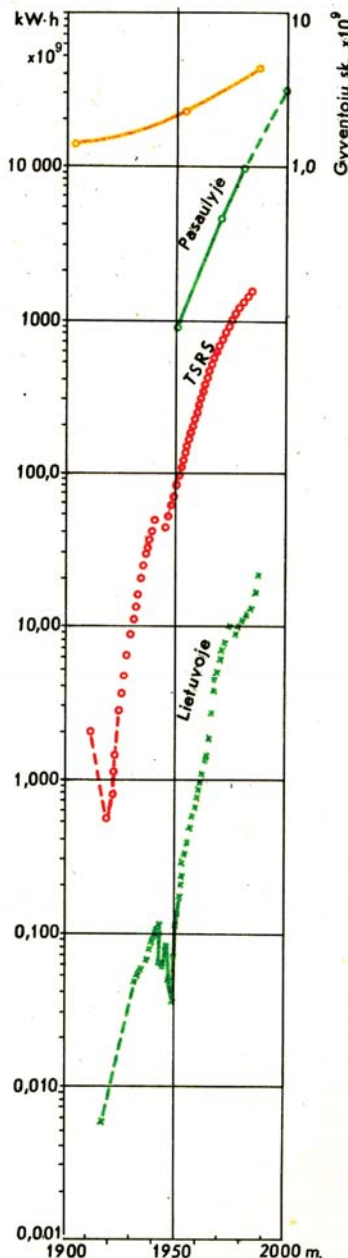
Iki revoliucijos Rusijoje buvo gaminama 14 kW·h vienam gyventojui (Anglijoje – 74, o JAV – 236), tuo tarpu lietuviškose gubernijose buvo gaminama vos 2 kW·h vienam gyventojui. Lietuvoje 1940 m. buvo gaminama 39 kW·h vienam gyventojui (dabartinėje teritorijoje). Tuo metu kitose šalyse buvo gaminama: Latvijoje – 90, Estijoje – 98, Danijoje – 233, TSRS – 249 kW·h vienam gyventojui. Pagamintoji elektros energija buvo suvartojama atskiruose Lietuvos miestuose labai nevienodai: Vilniuje – 75, Kaune – 210, Šiauliuose – 175, Panevėžyje – 50, Klaipėdoje (1937 m.) – 500 kW·h vienam gyventojui**.

Po karo Lietuvą imta sparčiai elektrifikuoti (0.1 pav.). Nuo 1940 iki 1980 m. elektros energijos gamyba Lietuvoje padidėjo beveik 100 kartų. Lemiamą vaidmenį suvaidino Lietuvos Valstybinė rajoninė elektrinė, kurios galia yra 1800 MW. Buvęs Perkūnkiemio kaimas tapo Lietuvos energetikų miestu – Elektrėnais. Pradėta eksploatuoti Ignalinos atominė elektrinė (projektinė galia 6000 MW), statoma Kaišiadorių hidroakumuliacinė elektrinė (projektinė galia 1600 MW).

Šiuo metu pasaulyje daugiausia elektros energijos gaminama šiluminėse ir atominėse elektrinėse. Jų našumas didžiausias, kai jos dirba visiškai apkrautos, o dažnai stabdyti ir paleisti šias elektrines yra neracionalu ir techniškai sudėtinga. Kadangi per parą elektros energijos poreikis kinta, tai šiek tiek padėtų taISO operatyviai paleidžiamos ir stabdomos hidroelektrinės, taip pat hidroakumuliacinės elektrinės. Pastarosios gali „sukaupti“ elektros energijos perteklių, kai jos nereikia, o kai reikia, gali atgaminti 70 % sukaupto elektros energijos kiekio ir grąžinti jį energetinei sistemai.

* Lietuvos energetika... P. 50.

** Lietuvos energetika... P. 162.



0.1 pav. Elektros energijos gamyba ir pasaulio gyventojų skaičius XX šimtmečiuje

Šiuolaikinei elektroenergetikai būdinga tai, kad visos elektrinės yra jungiamos į energetines sistemas. Dėl to atskiros elektrinės geriau išnaudojamos: išlyginami paros apkrovos grafiko netolygumai, galima perduoti reikiamu momentu didžiulius energijos kiekius iš vienu regionų į kitus, galima statyti elektrines arčiau gamtinių energetikos išteklių šaltinių, galima apsiriboti mažesnėmis rezervinėmis galiomis, padidinamas elektros energijos tiekimo patikimumas.

Svarbu yra ne tik tai, kiek elektros energijos pagaminama, bet kiek jos yra suvartojama vienam gyventojui, kur ir kaip ji suvartojama. Lietuvoje šiuo metu vienam gyventojui tenkantis suvartojamas elektros energijos kiekis yra didesnis negu vidutiniškai pasaulyje (0.2 pav.). 1980 m. Lietuvos elektrinėse buvo pagaminta $11,66 \cdot 10^9$ kW·h, o suvartota respublikoje – $11,56 \cdot 10^9$ kW·h. Šis balansas pakito, pradėjus eksploatuoti Ignalinos atominę elektrinę. Pavyzdžiui, 1988 m. Lietuvoje buvo pagaminta $26,0 \cdot 10^9$ kW·h, o suvartota – $16,8 \cdot 10^9$ kW·h elektros energijos.

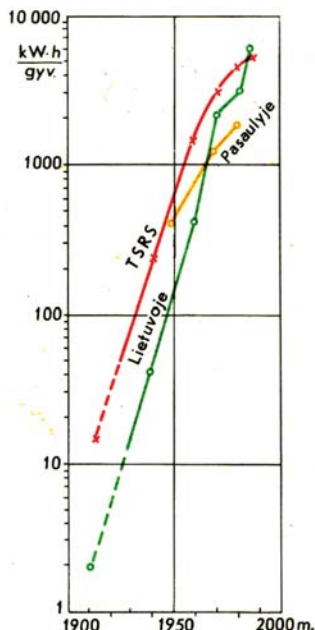
Visą suvartojamą elektros energijos kiekį galima sąlygiškai suskirstyti į dvi dalis. Pirmoji dalis skirta gamybinei žmogaus veiklai (pramonės, žemės ūkio produkcijai gaminti, transportui). Antroji – tiesioginėms žmogaus reikmėms tenkinti (šviesa, vėdinimas, šildymas, maisto gamyba, kultūriniai poreikiai ir kt.).

Pramonėje vienas iš labai svarbių ekonominių rodiklių yra elektros energijos kiekis, suvartojamas produkcijos vienetui. Pavyzdžiui, vilnionių audinių 1 m^2 pagaminti reikia apie $3,2 \text{ kW}\cdot\text{h}$, 1 kg cukraus – apie $0,3 \text{ kW}\cdot\text{h}$. Elektros energijos normos yra sudaromos visiems gaminiams, jos nėra pastovios ir paprastai, tobulėjant technologijai, mažėja. Tačiau dažnai, gerinant produkcijos kokybę, tenka suvartoti santykinai daugiau elektros energijos. Pavyzdžiui, laikraštinio popieriaus gamybai skiriama $370 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$, o šio vadovėlio ofsetiniam popieriui pagaminti reikėjo $650 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$.

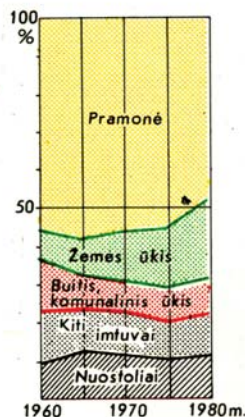
Pramonėje didžiausias elektros energijos kiekis (apie 60–65 %) suvartojamas elektros varikliuose paverčiant ją mechanine. Elektriniam apšvietimui tenka 10–12 %, elektrotermijai ir elektriniam suvirinimui apie 10 % suvartojamos pramonėje elektros energijos. Tuo tarpu ryšiai, radijas ir televizija suvartoja tik apie 2 %. Šie skaičiai įvairiose šalyse šiek tiek skiriasi.

Ne mažiau svarbu aprūpinti elektros energija statybas, transportą, žemės ūkį. Visoms gamybinėms reikmėms šiuo metu* Lietuvoje tenka apie 70–75 % visos suvartojamos elektros energijos (0.3 pav.)

* 1988 m.



0.2 pav. Elektros energijos santykinis suvartojimas (kW·h vienam gyventojui)



0.3 pav. Elektros energijos santykinis suvartojimas Lietuvoje

Sparčiai elektrifikuojama ir butis: gausėja įvairios buitinės elektros aparatūros, mašinų, šildymo įrenginių. Elektra vis labiau padeda žmogui ilsėtis, atgauti fizines ir dvasines jėgas, sudaro sąlygas daugiau laiko skirti intelektualiniam tobulėjimui. Šio šimtmečio pradžioje daugiausia elektros energijos buvo suvartojama tik butyje. Nors šiuo metu butyje ir visame komunaliniame ūkyje suvartojama kur kas daugiau elektros energijos, tam tenka dar palyginti nedidelė dalis visos suvartojamos elektros energijos. Pavyzdžiui, šiuo metu tai sudaro: Lietuvoje – šiek tiek mažiau nei 10%, TSRS – apie 14%, Maskvoje apie 19% visos suvartojamos elektros energijos. Šie skaičiai Lietuvoje (kaip ir daugelyje kitų šalių) turi tendenciją didėti.

Tą patį elektros energijos kiekį galima daugiau arba mažiau efektyviai suvartoti technologiniam procesui, galima apšildyti namus ekonomiškai arba didžiulį elektros energijos kiekį paleisti vėjais pro blogai pagamintus nesandarius langus. Nors elektros energijos savikaina nėra didelė (šiuo metu apie 1 kapeiką už kilovatvalandę), pravartu žinoti, kad šiluminėse ir atominėse elektrinėse ne daugiau kaip 1/3 šiluminės energijos paverčiama elektros energija, o perduodant elektros energiją nuostoliai sudaro apie 10–12 %. Tuo būdu tam, kad vartotojas gautų 1 kW·h elektros energijos, tenka paversti nuostoliais apie 2,5 kW·h. Šie skaičiai įpareigoja racionaliai vartoti elektros energiją.

Plečiantis elektros energijos gamybai ir didėjant elektrinių galiui, tokie dideli elektros energijos nuostoliai sudaro labai svarbią ekologinę problemą. Tai – gamtos teršimas šiluma ir kuro degimo produktais. Pavyzdžiui, prognozuojama, kad 2000 metais JAV elektrinėms aušinti bus suvartojama 2/3 visų sutekamųjų gėlųjų vandens.

Ekologiškai švariomis yra laikomos tos elektrinės, kurios naudoja atsinaujinančius energijos šaltinius. Tai vandens, saulės, vėjo, žemės gelmių šilumos elektrinės. Šiuo metu iš jų plačiausiai yra naudojamos hidroelektrinės, kurios pagamina apie 21–23 % visos pasaulyje gaminamos elektros energijos.

Didžiausias energijos šaltinis yra Saulė, kuri per metus spinduliuoja į Žemę apie $7,5 \cdot 10^{17}$ kW·h energijos. Palyginimui galime pasakyti, kad 1975 m. Žemėje buvo suvartota apie $7,3 \cdot 10^{13}$ kW·h visų rūšių energijos. Kitaip tariant, Saulės energija, patenkanti į 1/4 Egipto teritorijos plotą, galėtų patenkinti viso pasaulio visų rūšių energijos poreikius (1972 metų duomenimis).

Kaip matome, žmonija kol kas nepajėgia išnaudoti Saulės energijos, o kuria priemones papildomai energijai išgauti ir tuo pačiu dar papildomai šildo planetą.

XX šimtmečio antroje pusėje mokslininkų jėgos yra nukreiptos spręsti įvairioms energetinėms ir ekologinėms problemoms, iš kurių svarbiausiomis galime laikyti tokias: 1) kaip racionaliau paversti šiluminę energiją elektros energija; 2) kaip panaudoti valdomąją termobranduolinę lengvųjų elementų sintezės reakciją elektros energijai gaminti; 3) kaip racionaliau išnaudoti atsinaujinančius elektros energijos šaltinius.

Išsprendus pirmąsias dvi problemas, energetiniai Žemės ištekliai būtų neriboti, bet tai nesumenkina šiluminio teršimo ekologinės grėsmės. Manoma, kad tai būtų tik tarpinė pakopa ir laikina išeitis, kol žmonija sugebės tiesiogiai panaudoti Saulės energiją savo energetiniams poreikiams tenkinti. Bet tai jau XXI šimtmečio mokslo problema...