

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
КӨЛІК – ЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТІ



***«КӨЛІК ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ:
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІ» XI ХАЛЫҚАРАЛЫҚ
ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ БАЯНДАМАЛАР
ЖИНАҒЫ***

***СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА И
ЭНЕРГЕТИКИ: ПУТИ ИХ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ»***

***PROCEEDINGS OF THE XI INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICE
CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT AND ENERGY:
THE WAYS OF ITS INNOVATIVE SOLUTIONS»***

Астана, 2023

УДК 656+620.9
ББК 39+31
А43

Редакционная коллегия:

Председатель – Курмангалиева Ж.Д. Член Правления – Проректор по науке, коммерциализации и интернационализации; Заместитель председателя – Кокаев У.Ш. декан транспортно-энергетического факультета, к.т.н., доцент; Султанов Т.Т. – заместитель декана по научной работе, к.т.н., доцент; Арпабеков М.И. – заведующий кафедрой «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», д.т.н., профессор; Тогизбаева Б.Б. – заведующий кафедрой «Транспорт, транспортная техника и технологии», д.т.н., профессор; Байхожаева Б.У. – заведующий кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология», д.т.н., профессор; Сакипов К.Е. – заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», к.т.н., доцент; Жакишев Б.А. – заведующий кафедрой «Электроэнергетика», к.т.н., доцент.

А43 Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: XI Международная научно – практическая конференция, г. Астана, 16 марта 2023/Подгот. Ж.Д. Курмангалиева, У.Ш. Кокаев, Т.Т. Султанов – Астана, 2023. – 709с.

ISBN 978-601-337-844-2

В сборник включены материалы XI Международной научно – практической конференции на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», проходившей в г. Астана 16 марта 2023 года.

Тематика статей и докладов участников конференции посвящена актуальным вопросам организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, стандартизации, метрологии и сертификации, транспорту, транспортной техники и технологии, теплоэнергетики и электроэнергетики.

Материалы конференции дают отражение научной деятельности ведущих ученых дальнего и ближнего зарубежья, Республики Казахстан и могут быть полезными для докторантов, магистрантов и студентов.



4. Polymetal будет развивать в Казахстане возобновляемые источники энергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://qazaqgreen.com/journal-qazaqgreen/industry-news/599> /// QazaqGreen, 2022. – № 3 (07). –С. 12-13. –

5. Обзор перехода Казахстана к сценарию «зеленой» экономики путем увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе- Преобразование сельскохозяйственных отходов в биотепловую энергию. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.unescap.org/sites/default/files/ReviewoftheKazakhstantransitiontotheGreenEconomicscenario-Convertingatgriculturalresiduestobio-heatRus.pdf>. Дата доступа: 04.12.2019.

6. Шиловой Е.П. Биогазовые установки. Производство биогаза. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://mcx-consult.ru/biogazovye-ustanovki.-proizvodstvo>

7. Величко В.В., Кундас С.П. Эффективность и проблемы использования биогазовых технологий // Сахаровские чтения 2015 года: экологические проблемы XXI века: материалы 16-й междунар. науч. конф., 19–20 мая 2016 года, г. Минск, Республика Беларусь / под ред. С.А. Маскевича, С.С. Позняка, Н.А. Лысухо. –Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2016. –266 с.

8. Ульяна Громова. "Биогаз — альтернативное топливо будущего". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.solidwaste.ru/publ/view/581.html>

9. Благутина В.В. Биоресурсы // Химия и жизнь – 2011. - №1. – С.36-39

10. Williams A., et al., Pollutants from the combustion of solid biomass fuels, Progress in Energy and Combustion Science 38, 2012, pp. 113-137.

УДК 621.31

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРЫНЫҢ ТҰЙЫҚ ТІЗБЕКТЕРІНДЕГІ МАГНИТТІК ЖӘНЕ ЭЛЕКТР ҚОЗҒАУШЫ КҮШТЕРДІ ЕСЕПТЕУДІҢ ИТЕРАЦИЯЛЫҚ ӘДІСІ. 1 БӨЛІМ. АЙНАЛЫМ ТІЗБЕГІ МЕН МАГНИТ АҒЫНДАРЫН НАҚТЫЛАУ.

Жакатаев Токсан Айыпханович

Toksanzh@yandex.kz

Т.ғ.д., Л.Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университет, Астана, Қазақстан

Жакишев Бауыржан Айтмукашевич

zedel_hat@mail.ru

Т.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университет, Астана, Қазақстан

Коньсбекова Гүльбаршин Куатбековна

техника ғылымдарының магистры, Л.Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университет, Астана, Қазақстан

gulbarshyn_1991@mail.ru

Ермуқанбетов Ерлік Сакенович

Электр энергетикасы кафедрасының магистранты, Л.Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университет, Астана, Қазақстан

ЭМ-нің нақты механикалық және электромагниттік моделі үшін ротор мен статордың бір ұяшығын қамтитын жабық тізбек бойымен магниттік кернеуді есептеу схемасы көрсетілген. Статор мен ротор тістерінің бүйір контурлары геометрия айтарлықтай өзгерген кезде тегіс ауысуларға ие болған кезде орташа интегралды есептеуге негізделген эквивалентті геометриялық ұзындықты қалай анықтауға болатындығы көрсетілген. ЭМ ауа саңылауындағы жалпы магнит ағынын сандық итерациялық есептеу үшін алгоритм жасалды, ол компьютердегі есептеулер негізінде жүзеге асырылады.

Түйінді сөздер. Магнит өрісі, магнит ағыны, Итерация әдісі, электр машиналары, статор, ротор, сызықтық емес есеп.

For a particular mechanical and electromagnetic model of EM the scheme of calculating magnetic forces along a closed loop, which covers one cell of the rotor and stator, is shown. It is shown how to determine the equivalent geometric length based on the calculation of the average integral value. When the lateral contours of the stator and rotor teeth have smooth transitions when the geometry changes significantly. An algorithm for the numerical integrable calculation of the total magnetic flux in the air gap of EM is developed, which is implemented on the basis of calculations on a PC.

Keywords. Magnetic field, magnetic flux, iterative method, electric machines, stator, rotor, nonlinear problem.

Для конкретной механической и электромагнитной модели ЭМ показана схема расчета магнитного напряжения вдоль замкнутого контура, которая охватывает одну ячейку ротора и статора. Показано как определять эквивалентную геометрическую длину на основе вычисления среднего интегрального значения. Когда боковые контуры зубов статора и ротора имеют плавные переходы при существенном изменении геометрии. Разработан алгоритм для численного итерационного расчета общего магнитного потока в воздушном зазоре ЭМ, которая реализуется на основе вычислений на ПЭВМ.

Ключевые слова. Магнитное поле, магнитный поток, итерационный метод, электрические машины, статор, ротор, нелинейная задача.

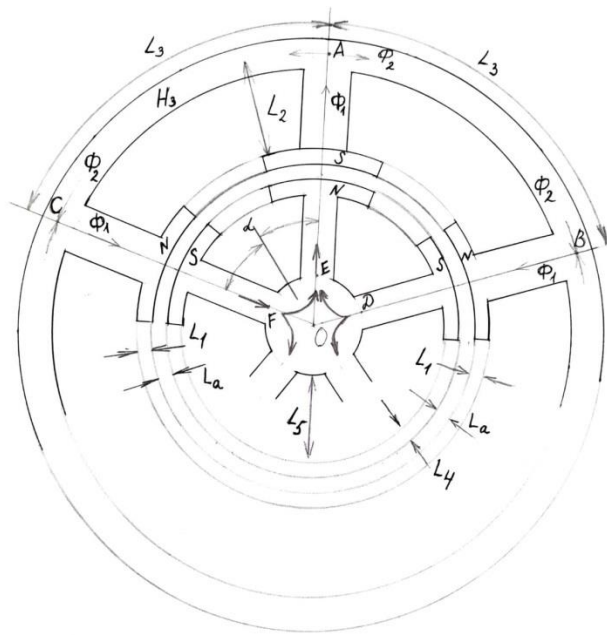
Кіріспе

ЕҰУ көлік-энергетика факультетінің жаңадан ашылған электр энергетикасы кафедрасында электр генераторлары мен қозғалтқыштарының әртүрлі түрлерінде магниттік және электр тізбектерін модельдеу және сандық есептеу бойынша бірқатар іргелі зерттеу жұмыстары жүргізілуде. Заманауи компьютерлерде оңай есептелетін жаңа сандық модельдерді құру практика мен теория үшін өзекті міндет болып табылады. Бұл екі жағынан пайдалы және маңызды. Біріншіден, әртүрлі типтегі электр қозғалтқыштары мен генераторларының барлық үлгілерінің жаңа түрлерін жасау, есептеу және жобалау бойынша жұмыс жеңілдетілді. Екіншіден, теориялық-есептік зерттеулер барысында күтпеген жаңа сәттер мен фактілер анықталып, ашылады. Тәжірибелік модельдер, үлгілерді құру мен жобалауда да, процестің жаңа теориялық сәттері мен жаңа жақтарын табу мүмкін. Мысалы, қайталанатын есептеулер барысында әртүрлі тізбек параметрлерінің (R , C , L) жабдықтың шығыс сипаттамаларына әсер ету дәрежесі анықталады, процестердің суреті егжей-тегжейлі көрсетіледі.

Электр машиналары (ЭМ) қайтымды, яғни олар генератор ретінде де, қозғалтқыш ретінде де жұмыс істей алады.

Теориялық шешім.

Модельдің өнімділігін көрсету үшін біз 1-суретте көрсетілген электр машинасының жеңілдетілген нұсқасын қарастырдық.



1 сурет - ЭМ электр машинасының роторы мен статорының схемасы

1-суретке белгілер. Φ_1 – DB, EA, FC, нүктелерінің бағыты бойынша магниттік индукция ағыны, L_1 - статор тісінің биіктігі (қалыңдығы), L_2 – статор тісінің табанының биіктігі; L_3 - CA, AB түйіндік нүктелері арасындағы қашықтық; L_4 – ротор тісінің биіктігі (қалыңдығы); L_5 – ротор тісінің табанының биіктігі; L_6 - статор тісінің FE, DE нүктелер арасындағы доға. Суреттің тығыздығына байланысты бұл қашықтықтың қисық доғадағы бейнесі суретке түспеді.

Магнит өрісінің максимумы статор тісі якорь тісіне тікелей қарама-қарсы орналасқан кезде болады. 1-суретте уақыттың осындай сәті бейнеленген. Осы уақыт аралығында магниттік қозғаушы күш (м.д. с.) $F=wI$, w - виток саны, I – ток күші болады. Шын мәнінде, $F=F_1 \pm F_2$, F_1 - м. д. с. ротор орамдары, F_2 - м.д.с. статор орамалары. (+) Немесе (-) белгісі осы катушкалардың э.к.к әрекет бағыты бойынша сәйкес келетініне немесе сәйкес келмейтініне байланысты болады, яғни олардың полярлығы.

Айналма контурлар бойымен H векторының айналымы үшін тендеуді дұрыс құра білу өте маңызды. Біздің жағдайымыз үшін бұл тендеу келесідей

$$U_{m,s} = 2(H_1L_1 + H_2L_2 + H_4L_4 + H_5L_5) + H_3L_3 + H_6L_6. \quad (1)$$

(1) тендеудің нақты түрі, оның мүшелерінің саны, олардың арасындағы коэффициенттер – осының бәрі салыстырмалы, әр түрлі болуы мүмкін және электр машинасының қарастырылып отырған түрінің нақты конструктивті, жеке ерекшеліктеріне байланысты. Сондықтан, мұндай ерекшеліктерді атап өту үшін біз ЭМ-нің типтік емес, ерекше дизайнын қарастырдық. Мысалы, кейбір практикалық жағдайларда тістің көлденең қимасы оның негізінің көлденең қимасына тегіс өтіп, бейнелі түрде тістің "бағанасына" айналуы мүмкін, яғни тістің басы мен оның бағанасын (негізін) нақты ажырату мүмкін емес. Бұл жағдайда салмақ функциясы болған кезде орташа интегралды мәнді есептеу үшін келесі мәселені шешуге тура келеді

$$L_{ef} = \frac{\int y dH}{H_{ef}},$$

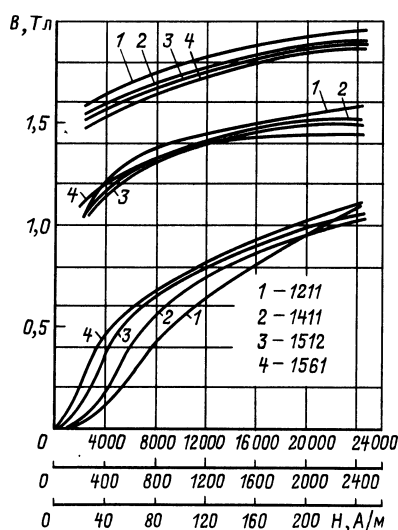
мұндағы y - ротордың немесе статор тісінің биіктігінің арақашықтығы, H - магнит өрісінің кернеулігі, "ef" таңбалары – бұл тиімді мәндер екенін белгілейді, басқаша айтқанда – орташа интегралдық мәндер, яғни одан әрі есептеулерде L_{ef} мәні пайда болады.

(1) теңдеудің нақты түрі осы берілген бекітілген ЭМ конструкциясы негізінде дәлелденеді. Біздің жағдайда А,В,С нүктелерінде Φ_1 магнит ағыны екі бөлікке бөлінеді $\Phi_1 = 2\Phi_2$. Алайда, А-ның бір бастапқы нүктесіндегі ағынның айқын төмендеуі осындай ағынның келуімен толықтырылады Φ_2 басқа, көрші нүктеден В немесе С, сондықтан АС немесе АВ учаскелерінде бірдей бастапқы Φ_1 ағын айналады. Бұл біздің модельдік дизайнымыздың осындай қызықты ерекшелігі екенін қайталаймыз, ол симметрия жағдайынан, сегменттің екі бөлігіндегі α бұрышының теңдігінен туындайды, сурет 1. Біздің жағдайда бұл бұрыш статор тізбегі мен ротор тізбегі үшін бірдей. Конструкцияларда статордағы және ротордағы тістердің саны әр түрлі болған кезде, оның тиісті егжей-тегжейлі жұмыс сызбасынан, (1) теңдеуді басқаша құру қажет болады. Басқа нақты конструкцияларда тапсырма күрделене түседі және ЭМ дизайнының нақты жұмыс сызбасы негізінде барлық есептелген теңдеулерді құрастыру және шығару қажет болады. Алайда, біз алгебралық теңдеулер жүйесі түрінде жүзеге асырылатын тармақталған магниттік ағындары бар осындай күрделі есептерді шешуді үйрендік.

Магниттік қозғаушы күш пен электрлік қозғаушы күштің одан әрі есептеу схемасы [1-6] кітаптарда жақсы сипатталған, дәстүрлі белгілі классикалық схема бойынша жасалады. 2-суретте тәжірибеде кеңінен қолданылатын электрлік болаттардың магниттік индукция B үшін тәжірибелік мәндері көрсетілген [1-5]. Осы графиктен біз B үшін кестелік мәндерді қолданамыз және есептеу бағдарламаларына енгіземіз. Сандық есептеулерге арналған бұл бағдарламаларды біз өзіміз жаздық, ол үшін қарапайым, қол жетімді, оңай пайдаланылатын, танымал тілдерді қолданамыз: Visual Fortran, Qbasic64, C++. [1-6]-да 3-сурет бойынша ЭМ ауа саңылауындағы нақты магнит ағынын есептеу үшін сызықтық емес теңдеуді графоаналитикалық шешудің жалпы схемасы көрсетілген.

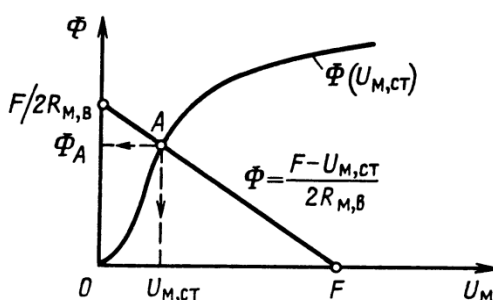
Біздің алдағы жоспарларымызда дербес компьютерлерде егжей-тегжейлі итерациялық есептеулер жүргізу.

Тағы бір ерекшелігі, біз есептеу компьютерлік бағдарламаларына кестелік мәндерді енгізу және пайдалану үшін 2-суретті қалай қолданамыз. Бағдарламадағы кез-келген ерікті H мәндері үшін $B=f(H)$ функциясының нақты мәндері сплайндармен кубтық интерполяция негізінде немесе 3-тен аспайтын дәрежелі Лагранж интерполяциясы бойынша анықталады. Сонымен қатар, 2-суреттегі 1, 2, 3, 4 сызықтары бұл функциялардың электрлік болат маркаларында да әр түрлі болуы мүмкін екенін көрсетеді. Бұл $B < 1$ аймағында өте айқын көрінеді. Содан кейін есептеу бағдарламасында осы мүмкіндікті ескеру үшін біз абсцисса осі бойынша (яғни H осі бойынша) интерполяцияның қосымша процедурасын енгізді, яғни екі айнымалы бойынша интерполяция қажет. MATLAB немесе MatCad сияқты заманауи қуатты пакеттермен орындау өте қарапайым. Сондай-ақ, бұл дереккөздерде жақсы ұсынылған кубтық интерполяцияның белгілі формулаларына негізделген қолмен (өзін-өзі басқаратын) бағдарламалау режимінде жүзеге асырылады [7-10].



2 сурет - әртүрлі маркалар үшін $B=f(H)$ эксперименттік мәндері

электротехникалық болаттар [1-5]. Бағдарламада қойынды жасау үшін



3 сурет - Графоаналитикалық үшін жалпы схема магниттік тізбектің сызықтық емес теңдеуінің шешімдері [1-5]. Қайталанатын есептеу схемасын құруға арналған иллюстрация

Қорытынды

1. ЭМ-нің нақты механикалық және электромагниттік моделі үшін ротор мен статордың бір ұяшығын қамтитын жабық тізбек бойымен магниттік кернеуді есептеу схемасы көрсетілген.

2. Статор мен ротор тістерінің бүйір контурлары геометрия айтарлықтай өзгерген кезде тегіс ауысуларға ие болған кезде орташа интегралды есептеуге негізделген эквивалентті геометриялық ұзындықты қалай анықтауға болатындығы көрсетілген.

3. ЭМ ауа саңылауындағы жалпы магнит ағынын сандық итерациялық есептеу үшін алгоритм жасалды, ол компьютердегі есептеулер негізінде жүзеге асырылады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. Основы теории цепей.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 529 с.
2. Попов В. С. Теоретическая электротехника.- М.: Энергоатомиздат, 1990.-545 с.
3. Буртаев Ю. В., Овсянников П. Н. Теоретические основы электротехники. –М.: Книжный дом “Либроком”, 2003.- 552 с.
4. Демирчян К. С., Нейман Л. Р., Коровкин Н. В. Теоретические основы электротехники.- Т.2.- СПб: Питер, 2009.- 432 с.
5. Ионкин П. А., Мельников Н. А., Даревский А. И., Кухаркин Е.С. Теоретические основы электротехники.- Ч. 1.- М.: Высшая школа, 1965.- 734 с.
6. Демирчян К. С. Моделирование магнитных полей. –Л.: Энергия, 1978.- 288 с.
7. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. –М.: Наука, 1980.- 537 с.
8. Корнейчук Н. П. Сплайны в теории приближения.-М.: Наука, 1984.-351 с.
9. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. –М.: Мир, 1972.-319 с.
10. Вержбицкий В. М. Численные методы. –М.: Высшая школа, 2001.- 385 с.