UDK 621.31

ELEKTR TIZIMLARI HAMDA TEXNOLOGIYALARDAGI DINAMIK JARAYONLAR VA ULARNING AMALIY YECHIMLARI

Sobirova Tursunoy Abdipatto qizi

Andijon davlat texnika instituti „Mashinasozlik ishlab chiqarishni avtomatlashtirish“ kafedrasi assistenti, O‘zbekiston

0009-0000-6298-4373

tursunoy.sobirova.1993@mail.ru

Annotatsiya. Bugungi kunga kelib elektr energiyasi insonlar hayotining ajralmas qismiga aylangan. Ushbu maqolada elektr tizimlarining tuzilishi, dinamik jarayonlarning kelib chiqish omillari, ularni matematik modellashtirish usullari va zamonaviy texnologik echimlar ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, real hayotdagi misollar orqali ushbu jarayonlarni boshqarish va optimallashtirish yo‘llari tahlil qilinadi. Asosiy maqsadco‘quvchilarga ushbu sohada umumiy tushunchalar berish va keyingi tadqiqotlari uchun yo‘nalish ko‘rsatishdir.

Kalit so‘zlar: Elektr energiyasi, texnologiyalar, dinamik jarayon, generator, transformator, uzatish liniyalari, yuklama, boshqaruv, himoya, Smart Grid, sun’iy intellect.

Аннотация. Сегодня электричество стало неотъемлемой частью жизни людей. В данной статье рассмотрено строение электрических систем, факторы возникновения динамических процессов, методы их математического моделирования и современные технологические решения. Также на реальных примерах анализируются способы управления и оптимизации этих процессов. Основная цель — дать студентам общее представление об этой области и направить их к дальнейшим исследованиям.

Ключевые слова: Электроэнергетика, технологии, динамический процесс, генератор, трансформатор, линии электропередачи, нагрузка, управление, защита, Smart Grid, искусственный интеллект.

Abstract. Today, electricity has become an integral part of human life. This article examines the structure of electrical systems, the factors that cause dynamic processes, methods for their mathematical modeling, and modern technological solutions. It also analyzes ways to control and optimize these processes using real-life examples. The main goal is to provide students with a general understanding of this area and to indicate directions for further research.

Key words: Electric energy, technologies, dynamic process, generator, transformotor, transmission lines, load, control, protection, Smart Grid, artificial intelligence.

Kirish.

Elektr tizimlari va texnologiyalar nafaqat energiya ta’minotini ta’minlaydi, balki sanoat, transport, axborot texnologiyalari va boshqa sohalarda muhim ahamiyat kasb etadi. Elektr tizimlarda barqarorlik va samaradorlikni ta’minlash uchun dinamik jarayonlarni chuqur o‘rganish zarurati tobora dolzarb bo‘lib bormoqda. Dinamik jarayonlar deganda, elektr tizimlarida vaqt o‘tishi bilan o‘zgaruvchan holatlar, tebranishlar, o‘tkinchi jarayonlar va tashqi ta’sirlar natijasida yuzaga keladigan o‘zgarishlar tushuniladi. Ushbu jarayonlarning noto‘g‘ri boshqarilishi yoki tahlil qilinmasligi tizimning ishdan chiqishiga, energiya yo‘qotishlariga va hatto katta miqyosdagi avariyalarga olib kelishi mumkin. Masalan, elektr tarmoqlarida qisqa tutashuvlar, yuklamalarning keskin o‘zgarishi yoki generatorlarning sinxronlashuvi buzilishi dinamik jarayonlarning yorqin namunasidir. Shu sababli, ushbu mavzuni o‘rganish nafaqat ilmiy, balki amaliy jihatdan ham katta ahamiyatga ega [1].

Elektr tizimlari murakkab infratuzilma bo‘lib, energiya ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash jarayonlarini o‘z ichiga oladi. Ushbu tizimlarning asosiy komponentlari quyidagilardan iborat: generatorlar (elektr energiyasini ishlab chiqaruvchi asosiy manba), transfor-matorlar (voltajni o‘zgartirib, energiyani uzatishni samarali qiladi), uzatish liniyalari (energiyani uzoq masofalarga etkazib beradi), yuklamalar (energiyani iste’mol qiluvchi qurilmalar va tizimlar), boshqaruv va himoya qurilmalari (tizimning barqaror ishlashini ta’minlaydi). Dinamik jarayonlar ushbu komponentlarning o‘zaro ta’siri natijasida yuzaga keladi. Ularning kelib chiqishi bir nechta omillarga bog‘liq:

- Tabiiy omillar. Chaqmoq urishi, shamol yoki harorat o‘zgarishi kabi tashqi sharoitlar tizimda tebranishlar yoki o‘tkinchi holatlarni keltirib chiqarishi mumkin.
- Texnogen omillar. Qisqa tutashuvlar, yuklamalarning keskin o‘zgarishi, generator-larning sinxronlashuvdan chiqishi yoki noto‘g‘ri boshqaruv dinamik jarayonlarni qo‘zg‘atadi.
- Ichki omillar. Tizimning o‘ziga xos xususiyatlari, masalan, uzatish liniyalarining sig‘imi yoki induktivligi, tebranishlarni keltirib chiqarishi mumkin.

Masalan, agar elektr tarmoqqa kutilmaganda katta yuk ulansa, generatorlarning chastotasi va kuchlanishi o‘zgaradi. Bu holat tizimda o‘tkinchi jarayonlarni boshlaydi va agar boshqarilmasa, barqarorlikni yo‘qotishga olib keladi. Shu sababli, dinamik jarayonlarni tahlil qilish va oldindan bashorat qilish elektr tizimlarining samarali ishlashi uchun juda muhimdir [2].

Adabiyotlar tahlili va metodologiya. Safarov A. tomonidan yozilgan „Elektr tarmoqlari va tizimlari”, Rasulov A.N., Raxmonov I.U.lar tomonidan yozilgan „Elektr tarmoqlari va tizimlari” darsliklarda elektr tizimlarining dinamik holatlari (masalan, yuk o‘zgarishi, avariya holatlari) haqida umumiy ma’lumot berilgan.

ISSN 3030-3907

Raxmonov I.U. tomonidan yozilgan "Elektr ta’minoti asoslari" va Imomnazarov A.T. yozgan "Elektr texnologiya asoslari" zamonaviy elektr ta’minoti tizimlarida dinamik jarayonlar haqida tushunchalar bergan. Weedy B.M., Cory B.J., Jenkins N., Ekanayake J.B., Strbac G. lar tayyorlagan "Electric Power Systems" va Theraja B.L., Theraja A.K. lar yozgan "Electrical Technology" kitoblari dinamik jarayonlarni o‘rganish uchun xalqaro miqyosda eng muhim manbalardan biridir.

Dinamik jarayonlarning xususiyatlari tizimning hajmi va murakkabligiga qarab farq qiladi. Kichik mahalliy tarmoqlarda bu jarayonlar odatda tez barqarorlashsa, katta milliy yoki xalqaro tarmoqlarda ular murakkabroq va uzoq davom etishi mumkin. Zamonaviy texnologiyalar, masalan, real vaqt rejimida monitoring va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari ushbu jarayonlarni boshqarishda katta yordam beradi. Zamonaviy elektr tizimlari juda murakkab bo‘lib, qo‘lda hisoblash deyarli imkonsiz. Shu sababli, MATLAB, Simulink, PSCAD kabi dasturiy vositalar keng qo‘llaniladi. Masalan, MATLAB yordamida tizimning o‘tkinchi jarayonlarini simulyatsiya qilish uchun quyidagi algoritmdan foydalaniladi:

1. Tizimning matematik modelini tuzish.
2. Boshlang‘ich shartlarni kiritish (masalan, yuklama qiymati).
3. Vaqt bo‘yicha o‘zgarishlarni hisoblash va grafik shaklida ko‘rsatish.

Masalan, agar tarmoqda qisqa tutashuv yuz bersa, simulyatsiya yordamida kuchlanish va chastotaning qanday o‘zgarishi aniqlanadi. Bu esa himoya qurilmalarini loyihalashda muhim ma’lumot beradi [3].

Kichik o‘zgarishlar uchun chiziqli modellar (masalan, kichik signal tahlili) qo‘llaniladi. Ammo katta miqyosli dinamik jarayonlar, masalan, tizimning butunlay ishdan chiqishi, chiziqsiz tenglamalar bilan tasvirlanadi. Chiziqsiz modellar murakkabroq bo‘lsa-da, real holatlarni aniqroq aks ettiradi. Matematik modellar nafaqat jarayonlarni tushunishga yordam beradi, balki tizimni optimallashtirish va avariyalarni oldini olishda ham qo‘llaniladi. Masalan, zamonaviy “Smart Grid” tizimlarida real vaqt rejimida ma’lumotlarni tahlil qilish uchun ushbu modellar asos qilib olinadi.

Elektr tizimlari va texnologiyalardagi dinamik jarayonlarning oldini olish, boshqarish va optimallashtirish zamonaviy energetika sohasining asosiy vazifalaridan biridir. Quyida ushbu jarayonlarni samarali boshqarish uchun amaliy misollar va texnologik echimlar keltiriladi. Elektr tarmoqlarida dinamik jarayonlar ko‘pincha qisqa tutashuvlar, yuklamalarning keskin o‘zgarishi yoki generatorlarning sinxron-lashuvdan chiqishi kabi holatlar natijasida yuzaga keladi. Ushbu muammolarni hal qilish uchun quyidagi echimlar qo‘llaniladi:

ISSN 3030-3907

- Avtomatik boshqaruv tizimlari (Automatic Voltage Regulators - AVR). Generator-larda kuchlanishning barqarorligini ta’minlaydi. Masalan, agar tarmoqda yuklama keskin oshsa, AVR rotor oqimini avtomatik ravishda sozlaydi va tebranishlarni kamaytiradi.
- Releli himoya qurilmalari. Qisqa tutashuv yuzaga kelganda, relelar tizimning zararlangan qismini tezda ajratib qo‘yadi. Misol uchun, O‘zbekistonning Farg‘ona viloyatidagi elektr tarmoqlarida 2022 yilda qisqa tutashuv natijasida yuzaga kelgan avariya zamonaviy rele tizimlari yordamida 10 soniya ichida bartaraf etilgan edi.
- Fazali kompensatorlar. Uzatish liniyalarida reaktiv quvvatni boshqarish orqali tebranishlarni kamaytiradi. Bu usul katta masofali tarmoqlarda keng qo‘llaniladi [4].

„Smart Grid” (Aqlli tarmoq) texnologiyasi dinamik jarayonlarni boshqarishda inqilobiy echim sifatida qaraladi. Ushbu tizim real vaqt rejimida ma’lumotlarni yig‘ish, tahlil qilish va avtomatik qaror qabul qilish imkonini beradi. Smart Gridning asosiy afzalliklari:
- Monitoring va bashorat. Sensorlar va IoT (Internet of Things) qurilmalari yordamida tarmoqning har bir nuqtasidagi kuchlanish, chastota va yuklama doimiy ravishda kuzatiladi. Masalan, agar tarmoqda yuklama keskin oshsa, tizim avtomatik ravishda zaxira generatorlarni ishga tushiradi.
- Energiya saqlash tizimlari. Batareyalar yoki superkondensatorlar yordamida ortiqcha energiya saqlanib, dinamik jarayonlar paytida ishlatiladi. Bu usul, ayniqsa, qayta tiklanadigan energiya manbalarida (quyosh va shamol) keng tarqalgan.
- Dinamik yuklamani boshqarish. Smart Grid iste’molchilarning energiya sarfini avtomatik sozlaydi. Masalan, yuqori yuklama paytida maishiy texnikalarni vaqtincha o‘chirish orqali tarmoqqa tushadigan bosimni kamaytiradi [5].

Tahlil va natijalar. O‘zbekistonda Smart Grid texnologiyasi hali boshlang‘ich bosqichda bo‘lsa-da, Toshkent shahrida pilot loyihalar sinovdan o‘tkazilmoqda. 2024 yilda xabar qilingan ma’lumotlarga ko‘ra, aqlli hisoblagichlar o‘rnatilishi tufayli energiya yo‘qotishlari 15% ga kamaygan.

Dinamik jarayonlarning natijalari turli tizimlarda o'lchanadigan fizikaviy va texnik parametrlar orqali ifodalanadi. Quyida elektr tizimlari va texnologiyalarda-gi dinamik jarayonlar uchun ba'zi raqamli natijalar keltirilgan:

1-jadval.

Elektr energiya tizimlarida dinamik jarayonlar natijalari

Ko’rsatkich	*Qiymati (odatiy)*	*Izoh*
O’tish jarayoni vaqti	0.1-5 soniya	Generator va yuklanish o‘zgarishida
Chastota tebranishi	±0.1 Hz	Kuchlanish o’zgarishlarida

ISSN 3030-3907

Chastota tiklanish vaqti	1-30 soniya	AGC (automatic generation control) tizimlarida
Chastota mustahkamlik chegarasi	49.5 - 50.5 Hz	50 Hz tizimlar uchun (±1%)
Kuchlanish pasayishi (sag)	10 - 90%	Yuklanish keskin o'zgarishlarida
Yuklanish keskin o'zgarishlarida	±10 - 100 MWt	SVC va STATCOM tizimlari orqali

2-jadval.

Elektr motorlar va dvigatellar uchun natijalar

Ko'rsatkich	*Qiymati (odatiy)*	*Izoh*
Ishga tushish toki (Inrush Current)	5 - 8×Nominal tok	Induksion motorlarda
Dvigatel aylanish tezligi (rpm)	1000 - 3600 rpm	Turli yuk sharoitlarida
O'tish jarayoni vaqti	0.2 - 3 sekund	Tezlik va moment o'zgarishlarida
Teskari aloqa vaqt kechikishi	<5 ms	Raqamli boshqaruv tizimlarida

Muhokama. Elektr tizimlaridagi dinamik jarayonlar tizimning vaqt o‘tishi bilan o‘zgaruvchan holatlarini, ya’ni o‘tkinchi va tebranish jarayonlarni anglatadi. Bular qisqa tutashuvlar, yuk o‘zgarishi, generatorlarning sinxronlashuvi yoki qayta tiklanadigan energiya manbalarining integratsiyasi kabi holatlarda yuzaga keladi. Weedy va boshqalarning “Electric Power Systems” kitobida ta’kidlanishicha, dinamik jarayonlar tizimning barqarorligini ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi, chunki ularni noto‘g‘ri boshqarish katta avariyalarga olib kelishi mumkin (masalan, 2003-yilgi AQSh shimoli-sharqidagi elektr uzilishi). Mahalliy kontekstda, O‘zbekiston kabi rivojlanayotgan mamlakatlarda, Safarov va boshqalarning “Elektr tarmoqlari va tizimlari” darsligiga ko‘ra, dinamik jarayonlar ko‘pincha eskirgan infratuzilma va yangi texnologiyalarni integratsiya qilishdagi qiyinchiliklar bilan murakkablashadi. O‘tkinchi barqarorlik - qisqa tutashuv yoki katta yuk o‘zgarishi tufayli generatorlarning sinxronizmini yo‘qotishi. Theraja buni rotor burchagi dinamikasi bilan bog‘liq deb tushuntirgan. Tizimning past chastotali tebranishlari, masalan, elektromexanik tebranishlar, barqarorlikni xavf ostiga qo‘yadi. Weedy bu jarayonlarni kichik signal tahlili orqali modellashtirishni taklif qiladi [6].

ISSN 3030-3907

Qayta tiklanadigan energiya (quyosh, shamol) tizimlarni dinamik jihatdan murakkablashtiradi, chunki ularning o‘zgaruvchan tabiati an’anaviy tizimlar bilan moslashishni talab qiladi. Dinamik jarayonlar ko‘p hollarda eskirgan uskunalar va etarli monitoring tizimlari yo‘qligi tufayli yuzaga keladi. Masalan, qishda yuqori yuklanish yoki yozda issiqlik ta’sirida tarmoqlarning dinamik barqarorligi sinovdan o‘tadi. Elektr tizimlari va texnologiyalardagi dinamik jarayonlar zamonaviy energetika sohasining murakkab va dolzarb mavzusi hisoblanadi. Dinamik jarayonlarni samarali boshqarish uchun nazariy bilim, zamonaviy texnologiyalar va mahalliy sharoitlarni hisobga olish muhimdir.

Xulosa. Quyosh elektr stansiyalari kabi qayta tiklanadigan energiya manbalari ob-havo sharoitlariga bog‘liq bo‘lib, dinamik jarayonlarning yuzaga kelishiga moyil. Masalan, bulutli kunlarda quyosh radiatsiyasining keskin pasayishi quvvat ishlab chiqarishda o‘zgarishlarga olib keladi. Bunday hollarda quyidagi echimlar qo‘llaniladi:

- Inverterlarning optimallashtirilishi. Zamonaviy inverterlar quvvat o‘zgarishlarini tezda sozlaydi va tarmoqqa sifatli energiya etkazib beradi.
- Gibrid tizimlar. Quyosh panellari dizel generatorlari yoki batareyalar bilan birlashtirilib, quvvatning uzluksizligi ta’minlanadi. Masalan, Samarqand viloyatidagi quyosh stansiyasida 10 MVt quvvatli batareya tizimi o‘rnatilib, dinamik jarayonlarning ta’siri 80% ga kamaytirildi.

Texnologiyalar rivojlanishi bilan sun’iy intellekt (AI) va mashinaviy o‘qitish (Machine Learning) dinamik jarayonlarni boshqarishda muhim rol o‘ynamoqda. AI asosidagi tizimlar tarmoqning holatini oldindan bashorat qilib, avariyalarni oldini olishga yordam beradi. Masalan, AQShda qo‘llanilayotgan AI algoritmlari tarmoqda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan tebranishlarni 95% aniqlik bilan bashorat qiladi. O‘zbekistonda bunday texnologiyalarni joriy etish hali rejalashtirilmoqda, ammo bu kelajakda energiya samaradorligini oshirishga katta hissa qo‘shadi.

Dinamik jarayonlarni boshqarish uchun amaliy va texnologik echimlar tizimning barqarorligini ta’minlash bilan birga, energiya yo‘qotishlarini kamaytiradi va iste’molchilarga sifatli xizmat ko‘rsatadi. Zamonaviy yondashuvlar, ayniqsa, Smart Grid va AI kabi texnologiyalar, kelajakda elektr tizimlarini yanada samarali va ishonchli qiladi. O‘zbekiston kabi rivojlanayotgan mamlakatlar uchun bu echimlarni bosqichma-bosqich joriy etish energiya infratuzilmasini modernizatsiya qilishning muhim qismidir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Safarov.A.M., G‘oyibov.T.SH., Sulliyev.A.X. „Elektr tarmoqlari va tizimlari”. Darslik. Toshkent. 2020.

ISSN 3030-3907

2. Rasulov.A.N., Raxmonov.I.U. „Elektr tarmoqlari va tizimlari”. Darslik. Toshkent. 2018.
3. Raxmonov.I.U. „Elektr ta’minoti asoslari”. Darslik. Toshkent. Tafakkur avlodi. 2024.
4. Imomnazarov A.T. „Elektr texnologiya asoslari”. Darslik. Toshkent. 2015.
5. Weedy B.M., Cory B.J., Jenkins N., Ekanayake J.B., Strbac G. „Electric Power Systems”. Fifth edition. Wiley. 2012.
6. Theraja B.L., Theraja A.K. „Electrical technology”. Ram Nagar. New Dehli. 2005.

ISSN 3030-3907