OʻZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA OʻRTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

ABU RAYHON BERUNIY nomidagi TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI

fanidan laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy koʻrsatmalar

Toshkent 2016

«Elektr tarmoqlari va tizimlari» fanidan virtual laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy koʻrsatmalar. Rasulov A.N., Toʻychiyev F.N., Mamarasulova T.S.–Toshkent: ToshDTU 2016 – 66 b.

«Elektr tarmoqlari va tizimlari» fanidan virtual laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy koʻrsatma 5310200 – «Elektr energetikasi» yoʻnalishining oʻquv standartiga mos keladi.

Ushbu laboratoriya ishida sakkizta laboratoriya ishidan, ularni bajarish tartibi, hisobot uchun talablar va qisqacha nazariy ma'lumotlardan iborat.

MatLab amaliy dasturining paketi yordamida ta'minlovchi va taqsimlovchi elektr tarmogʻini modellashtirishning asosiy prinsiplari koʻrib chiqilgan. Murakkab tuzilishga ega boʻlgan taqsimlovchi tarmoqlarda kuchlanish ogʻishini ruxsat etilgan oraliqlarini aniqlash boʻyicha tavsiyalar berilgan.

«Elektr tarmoqlari va tizimlari» fanini oʻrganayotgan talabalar uchun moʻljallangan.

ToshDTU ilmiy–uslubiy kengashining qaroriga asosan chop etilgan.

Taqrizchilar: F.A.Xoshimov – "Energetika va avtomatika" instituti laboratoriya mudiri, t.f.d., professor;

O.M.Burxanxadjayev – ToshDTU, "Elektrotexnika va kasb ta'lim (energetika)" kafedrasi dotsenti, t.f.n.

1. Sim Power Systems paketida elektronika qurilmalarining elementlari

1.1. Sim Power Systems paketini kengaytirish

Sim Power Systems kutubxona bloklari Simulink kutubxonasining qoʻshimchasidan biri hisoblanib, elektronika qurilmalarini modellashtirish uchun yoʻnaltirilgan hisoblanadi. Kutubxona tarkibiga aktiv va passiv elektrotexnik elementlar, energiya manbalari, elektr motorlar, transformatorlar, elektr uzatish liniyalari va h.k. lar kiradi. Bundan tashqari yarimoʻtkazgichli qurilmalarni modellashtirish boʻlimi mavjud. Sim Power Systems ning maxsus imkoniyatlarini ishlatgan holda foydalanuvchi qurilmalar ishini faqatgina vaqt boʻyicha emas, balki ushbu qurilmalarning turli koʻrinishdagi tahlilini imitatsiya qilish mumkin.

Sim Power Systems da modellarni yaratish metodikasi quyidagidan iborat. Sxemada bloklarni joylashtirish, ularning parametrlarni berish, bolklarni ulash va modelni hisoblash parametrlarini oʻrnatish kerak boʻladi.

Sim Power Systems paketining modellari bir necha afzalliklarga ega.

1. *Simulink* dan farqli ravishda bloklarning kirish va chiqishlari yoʻnaltirilmagan.

2. Bloklarni bir-biriga bogʻlovchi liniya elektr oʻtkazgichning modeli hisoblanadi, u orqali tok ikkala yoʻnalishda ham oqib oʻtishi mumkin.

3. *Simulink* ning bloki va *Sim Power Systems* ning bloki signallarni tabiati turli xil boʻlganligi uchun ularni bir-biriga toʻgʻridan toʻgʻri ulash mumkin emas. Signal *Simulink* blokdan *Sim Power Systems* blokiga boshqariluvchi tok va kuchlanish manbasi orqali, teskari ravishda esa tok va kuchlanish oʻlchagichlari yordami bilan uzatish mumkin.

4. Bir necha oʻtkazgich liniyalarni bir–biriga ulash mumkin. Ushbu ulashlarni amalga oshirish uchun *Sim Power Systems* da maxsus bloklar talab etilmaydi.

1.2. Sim Power Systems paketi kutubxonasi

Sim Power Systems kutubxonasi ettita asosiy boʻlimlardan iborat (1– rasm):

- *Electrical Sources* elektr energiya manbasi;
- *Elements* elektrotexnik elementlar;
- Power Electronics kuch elektronika qurilmalari;
- *Machines* elektr motorlar;
- Measurements o'lchov va nazorat qurilmalari;
- Application Library injener ilovalar kutubxonasi
- *Extra Library* qoʻshimcha kutubxonalar.

Foydalanuvchi ushbu boʻlimlarning bloklaridan foydalangan holda qisqa vaqt ichida murakkab elektrotexnik tizimlarni toʻla qimmatli modelini yaratish mumkin. Asosiy kutubxonada Powergui blogi joylashgan boʻlib, elektr sxemalarni tahlil qilishda ishlatiladi.



1 - rasm. Sim Power Systems kutubxonasi

Ushbu blok quyidagi masalalarni bajarishni ta'minlaydi:

- sxemani kompleks usulda hisoblash;
- oʻrnatilgan rejim hisobi;
- modelni diskretizatsiya;

– elektr mashinalardan iborat boʻlgan uch fazali sxemani initsializatsiyalash, bunda hisob oʻrnatilgan rejimdan boshlansin.

- sxemani Use LTI Viewer instrumenti yordami bilan chastotali tahlili;

- zanjirni toʻla qarshiligini (impedansi) aniqlash;

- garmonik tahlilni badarish;

- makon holatida model matritsa tenglamasini aniqlash.

Quyida beshta kutubxonaning qisqacha tavsifi keltirilgan.

1.2.1. Electrical Sources – elektr energiya manbasi

Ushbu kutubxona boshqarilmaydigan va boshqariluvchi oʻzgarmas va oʻzgaruvchan kuchlanish va tok manbalaridan tashkil topgan (2– rasm). Sozlash parametri oynasi maydonida har bir blok uchun kuchlanish amplitudasi, boshlangʻich fazasi va chastotasining qiymati oʻrnatiladi.



2-rasm. Electrical Sources kutubxonasi

«Measurements» maydoni *Multimeter* blokini ulab manbaning chiqish parametrlarini oʻlchash va kuzatish imkonini beradi. Boshqariluvchi manbalarning bloklari *«Simulink Block Library»* asosiy kutubxonaning struktura va funksional sxemalarini *Sim Power System* kutubxonaning elementlari bilan bogʻlash imkonini beradi.

1.2.2. Elements – elektrotexnik elementlar

3–rasmda ushbu kutubxonaning tarkibi keltirilgan, u quyidagilardan iborat:

1. Ketma–ket va parallel ulan bir fazali va uch fazali passiv *R*, *L*, *C* elementlar, ular ushbu elementlarning parametrlarida berilgan (Om, Genri, Farada «*RLC Branch*»), bundan tashqari aktiv, reaktiv indukiv yoki reaktiv sigʻim quvvatli («*RLC Load*») qiymatlarda berilgan boʻlishi mumkin.

2. Bir fazali va uch fazali magnit bogʻlangan zanjir (oʻzaro induksiyali zanjir) (*Mutual Inductance*, *Three–phase Mutual Inductance*).

3. Liniyali bir fazali va uch fazali transformatorlar (*Linear Transformer*, *Three–Phase Transformer*) va magnitlanishni hiobga oluvchi haqiqiy magnit oʻzakli transformator (*Saturable Transformer*).

4. Bir fazali va uch fazali kalit (*Breaker*), uning parametrlari (qarshilik, induktivlik) sozlanmalar maydonida beriladi.

5. Uch fazali ikki chulgʻamli va uch chulgʻamli transformatorlari (*Three–Phase Transformer, Two windings, Three windings*).

6. Bir fazali va chu fazali uzatish liniyaning parametrlarini amalga oshiruvchi bloklar (*PI Section Line, Distributed Parameters Line*).



3 - rasm. Elements kutubxonasi

1.2.3. Power Electronics – kuch elektronika qurilmalari

Kuch elektronika qurilmalarining kutubxonasida (4 – rasm) yarimoʻtkazgichli asboblarning modeli (diod, tiristor, yopiladigan tiristor, *IGBT* va *MOSFET* tranzistorlar), bundan tashqari bir, ikki va uch fazali toʻgʻrilagich yoki invertor sxemasini modellash imkonini beruvchi universal koʻprik joylashgan. Bundan tashqari kutubxonada uch darajali koʻprik modeli va ideal kalit modeli mavjud.

Har bir yarimo'tkazgichli element m kirishga ega bo'lib, o'lchov asboblarida yordami bilan elementdagi kuchlanish va tokning formasini ko'rish va uning qiymatini o'lchash mumkin. Har bir bloklar g harfi bilan belgilangan boshqaruv kirishiga ega.

Qoʻshimcha *Extras* kutubxonada qoʻshimcha diskret va uzluksiz boshqaruv bloklari joylashgan.



4 - rasm. Power Electronics kutubxonasi

1.2.4. Measurements – o'lchov va nazorat qurilmalari

Oʻlchov qurilmalarning kutubxonasi 5 - rasmda koʻrsatilgan.

Oʻlchov qurilmalarining kutubxonasida tok va kuchlanishning oniy qiymatini oʻlchash bloki, uch fazali tizimda tok va kuchlanishni oʻlchash bloki, elektr sxema uchastkasini toʻla qarshiligini oʻlchagich va oʻlchov qurilmalarni toʻgʻridan toʻgʻri ulamasdan ham bloklarni kattaliklarni oʻlchash imkonini beruvchi *Multimeter* mavjud. Ma'lum bir blokning parametrlar oynasidagi *Measurement* xonasiga o'lchanadigan kattalik belgilangandan so'ng, *Multimeter* bloki ushbu kattalikni akkumulyasiya kiladi. O'lchov blokining chiqish signali *Simulink* ning oddiy signali hisoblanib, ulardan aks ettirish blokiga (*Scope, Display*) yoki xohlagan oddiy *Simulink* blokining kirishiga berilishi mumkin.



5 - rasm. O'lchov asboblarining kutubxonasi

1–laboratoriya ishi Salt tartibda ishlayotgan ta'minlovchi elektr uzatish liniyasini modellashtirish

Ishdan maqsad: MathLab/Simulink dasturining interfeysini oʻrganish, elementlarni boshqarish va tuzatishlar kiritishda boshlangʻich bilimga ega boʻlish, yuqori kuchlanishli ta'minlovchi elektr uzatish liniyasini (EUL) modelini tuzish va ularni salt ishlash tartibida tadqiq qilish.

1.1. Qisqacha nazariy ma'lumot

Elektr uzatish parametrlari taqsimlangan liniyani oʻzi ichiga olib, bir turli liniyada uning sigʻimi va aktiv oʻtkazgichlari, qarshiligi uzunlik boʻyicha bir xil taqsimlangan hisoblanadi.

Parametrlari uzunlik davomida taqsimlangan elementli sxemani analitik hisoblash murakkab hisoblashlarni keltirib chiqaradi. 110 kV va undan yuqori kuchlanishli EUL ish tartibini tadqiq qilishda ularni uzunligi davomida taqsimlangan sigʻimini ham hisobga olish kerak, bunda liniyaning uzunligi, elektr ta'minoti tizimining jarayonlariga katta ta'sir oʻtkazishi mumkin. Shuning uchun 110 kV va undan yuqori kuchlanishli EUL ni hisoblashda, qarshilik va oʻtkazuvchanligi yigʻilgan parametrli sodda sxemasi qoʻllaniladi. EUL ning "P" koʻrinishli almashtirish sxemasining umumiy koʻrinishi 1.1–rasmda keltirilgan.



Almashtirish sxemasidan koʻrinib turibdiki (1.1–rasm), liniyaning toʻla sigʻim B va aktiv G oʻtkazuvchanliklari sxemaning boshi va oxirida, aktiv R va reaktiv X qarshiliklar almashtirish sxemasining oʻrtasida joylashgan.

Tojlanishga, shu bilan birga kam darajada izolyasiyada sarf boʻladigan aktiv quvvat isrofi aktiv oʻtkazuvchanlik G dan aniqlanadi. Qoidaga asosan, hisoblashlarda toklarning chiqib ketishi hisobga olinmaydi, me'yoriy ob-havo sharoitini va simlarning kesim yuzasi kuchlanishga qarab tanlanishini hisobga olgan holda tojlanish isrofi juda kichik, shuning uchun laboratoriya ishlarini bajarishda, G nolga teng deb qabul qilinadi. Almashtirish sxemasi 1.2-rasmda koʻrsatilgan koʻrinishda boʻladi.



1.2-rasm. Ta'minlovchi EUL salt ishlayotganda aktiv oʻtkazuvchanlikni hisobga olmagandagi almashtirish sxemasi

Ma'lumotnomalarda [6] oʻtkazgichlarning qarshiligi va oʻtkazuvchanligining oʻlchov (yoki solishtirma) qiymati koʻrsatiladi. Toʻla qiymat, solishtirma qiymatni elektr uzatish liniyasining uzunligiga koʻpaytirilib topiladi.

Sxemadan (1.2–rasm) kelib chiqadiki, tarmoqda sigʻimni mavjudligi, yuklama boʻlmaganda ham reaktiv toklarni oqishiga olib keladi. Liniyani salt ishlashida EUL sxemasining barcha elementlardagi kuchlanish va oqayotgan toklarni oʻrganish katta qiziqish oʻygʻotadi.

Salt ishlash tartibida reaktiv sigʻim tok I_{B2} liniyaning aktiv qarshiligi R orqali oʻtib I_{B2} ·R kuchlanish pasayishini keltirib chiqaradi,

bu vektor diagrammadan (1.3–rasm) kelib chiqadi. Induktiv X qarshilik orqali tok oʻtganida unda – I_{B2} ·X kuchlanish pasayishini hosil boʻladi. Bu esa, salt ishlash tartibida liniya oxiridagi kuchlanishni oshishiga olib keladi.



1.3-rasm. EUL salt ishlayotgan fazasining vektor diagrammasi

Agar liniyaning uzunligi 100–500 km boʻlsa, kuchlanishning oshishi 0,5–10 % ni tashkil etishi mumkin. Kuchlanish oʻrnatilgan darajadan oshsa, elektr uskunalarning ishiga salbiy ta'sir koʻrsatadi, chunki izolyasiya va liniyaning elektrotexnik uskunalarini ishlash muddatini kamaytiradi, ba'zi hollarda esa EUL tomonlaridagi kuchlanish qiymatlarining farqi hisobiga, hattoki parallel ishlayotgan generatorlarning sinxron ishlashi turgʻunligini pasaytirishi mumkin.

Katta uzunlikdagi elektr uzatish liniyalarida ushbu hodisalarni oldini olish uchun sxemalarda induktiv reaktiv quvvat kompensatsiyasi ishlatiladi.

Shuni ta'kidlash lozimki, liniyaning reaktiv tokining qiymati yuklama tokining maksimal qiymatini 25–30 % tashkil etishi mumkin. Yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli liniyalarda ajratgichlar bilan hatto salt ishlashda har qanday uzib–o'chirishlar ta'qiqlanadi.

1.2. Salt ishlayotgan EUL ni modellashtirish

EUL ni modellashtirishda Simulink ning quyidagi elementlari qoʻllaniladi:

1. AC Voltage Source – o'zgaruvchan kuchlanish manbasi. Ushbu komponent SimPowerSystems kutubxonasining Electrical Sources bo'limida joylashgan. Element quyidagi asosiy parametrlar bilan xarakterlanadi: peak amplitude (eng yuqori amplituda), phase (boshlang'ich faza), frequency (chastota). Sample time parametrni o'zgarishsiz qoldirish mumkin.

2. Series RLC Branch – RLC elementlar ketma–ket ulangan kontur. Komponent SimPowerSystems kutubxonasining Elements boʻlimida joylashgan. Elementlar resistance (toʻla qarshilik), inductance (toʻla induktivlik), capacitance (toʻla sigʻim) parametrlar bilan xarakterlanadi.

3. **Bus Bar** – shina, kiruvchi va chiquvchi signallarni sonini o'zgartirish imkonini beradi. Element *SimPowerSystems* kutubxonasining *Connectors* (ulagichlar) bo'limida joylashgan. Uning parametri kirishlar soni (*number of inputs*) va chiqishlar soni (*number of outputs*) hisoblanadi.

4. Voltage Measurement, Current Measurement – mos ravishda kuchlanish va toklarning oniy qiymatlarini oʻlchagich. Element SimPowerSystems kutubxonasining Measurements boʻlimida joylashgan.

5. **RMS** – signalning oniy qiymatini haqiqiy (ta'sir etuvchi) qiymatga o'zgartgich. U *SimPowerSystems* kutubxonasining *Measurements* bo'limining *Extra Library* bo'limida joylashgan. Sozlanadigan parametr *frequency* (chastota) hisoblanadi.

6. *Display* – displey, signalni son qiymatini aks ettiradi. U *SimPowerSystems* kutubxonasining *Sinks* boʻlimida joylashgan. Asosiy parametri *format* (ma'lumotlarni aks ettirish formati) hisoblanadi.

Simulink ning ishchi oynasiga kutubxonadan kerakli boʻlgan elementlarni joylashtirib, ularni ketma–ket ulab va sozlanmalarni bajarib imitatsion modelni olamiz (1.4–rasm).

EUL boʻylama qarshiligi *Series RLC Branch* element yordami bilan modellashtiriladi, bunda capacitance parametr *inf* ga teng. Koʻndalang

sigʻim oʻtkazuvchanlik RLC kontur bilan koʻrsatilgan, unda inductance parametr nolga teng. SHuni ta'kidlash kerakki, almashtirish sxemasining koʻndalang shaxobchasida kichik aktiv qarshilik boʻlishi kerak (masalan, 10^{-5} Om).



1.4-rasm. Simulink da salt ishlayotgan EUL ning imitatsion modeli

1.3. Ishni bajarish tartibi

1) Mathlab dasturini ishga tushiring va Simulink kutubxonasini oching.

2) *File/New/Mobel* komandalarini bajarish yoʻli bilan modelning yangi faylini yarating.

3) Elektr ta'minoti tizimi modellashtirish uchun Simulink da kerakli to'plamlarni oching (*SimPowerSystems*), salt ishlayotgan EUL ni modellashtirish uchun *Simulink* oynasidagi kerakli elementlarni yangi ochilgan model oynasiga joylashtiring. (1.2 – bo'limga qarang).

4) Oʻqituvchi tomonida berilgan variantga muvofiq ravishda kerakli boʻlgan parametrlarni jadvaldan oling, liniyaning toʻla qarshilik, oʻtkazuvchanligi qiymatini hisoblang, modelga kiritilgan elementlarni parametrlarini kiriting va ular orasida bogʻliqlikni hosil qiling. Buning uchun mos ravishda bloklarning kirishlari va chiqishlarini 1.4–rasmda koʻrsatilgan kabi bir – biri bilan bogʻlang.

5) Hisoblovchi parametrni *Simulation/Simulation parametrs* menyusidagi *Solver* ilovasiga kiriting.

6) *Simulation/Start* buyruqlarini bajarish yoʻli bilan modelni ishga tushiring.

1.1–jadval

	Variant										
Parametr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ta'minlash manbasining kuchlanishi U ₁ , kV	110	220	330	500	220	330	110	220	500	330	
EUL uzunligi L, km	100	150	270	380	200	250	120	190	420	300	
EUL solishtirma aktiv qarshiligi r ₀ , Om/km	0,3	0,21	0,131	0,021	0,21	0,131	0,46	0,21	0,021	0,131	
EUL solishtirma reaktiv qarshiligi x ₀ , Om/km	0,4	0,34	0,434	0,29	0,34	0,434	0,44	0,34	0,29	0,434	
Solishtirma oʻtkazuvchanlik b ₀ 10 ^{–6} , Sm/km	2,2	2,6	2,83	3,77	2,6	2,83	2,38	2,6	3,77	2,83	
EUL yuklamasi P+jQ, MVA	40+ j15	70+ j25	200+ j75	270+ j100	80+ j30	220+ j70	30+ j10	110+ j40	300+ j110	240+ j90	

EUL ishini modellashtirishning birlamchi ma'lumotlari

7) Modellashtirishni bajarilishi tugallangandan soʻng oʻlchov asboblarining (ampermetrlar va voltmetrlar) koʻrsatgichlarini qayd eting.

8) Model faylini oʻzingizning shaxsiy ismingiz bilan saqlang.

9) EUL ishini tadqiq qilish natijalrini 1.2–jadvalga kiriting, salt ishlayotgan EUL uchun tok va kuchlanishlar vektor diagrammasini quring, sigʻim oʻtkazuvchanligini EUL kuchlanish tartibiga ta'siri haqida xulosa chiqaring, shu bilan birga sinov savollariga javob bering va bajarilgan laboratoriya ishining hisobatini rasmiylashtiring.

1.2-jadval

Suit Isina Jotgan 202 Isinin taaqiq qinsh hatijatan										
EUL ish	Tadqiq qilinadigan kattaliklarni haqiqiy qiymati									
tartibi	I _{BI} , A	I _{B2} , A	I ₁ , A	U_1, kV	U_2 , kV					
Salt yurish										

Salt ishlayotgan EUL ishini tadqiq qilish natijalari

Sinov savollari

1. Yuqori kuchlanishli salt ishlash tartibidagi EUL da tokning oqishini sababi nima?

2. Salt ishlash tartibida liniyaning oxirida kuchlanish qanday hosil boʻladi va EUL oxiridagi kuchlanish qiymatining farqi sababi nimada?

3. Yuqori kuchlanishli salt tartibida ishlayotgan EUL ni ajratgich bilan oʻchirish mumkin emasligi nimada?

4. EUL oxiridagi kuchlanish qiymatlarining farqi nimaga olib keladi?

2–Laboratoriya ishi Yuklama ostida ishlayotgan ta'minlovchi elektr uzatish liniyasini modellashtirish

Ishdan maqsad: aktiv – induktiv yuklama bilan ishlayotgan yuqori kuchlanishli ta'minlovchi elektr uzatish liniyasi modelini yigʻish va uning ish tartibini tadqiq qilish.

2.1. Qisqacha nazariy ma'lumot

Yuklamaga ulangan elektr uzatish liniyasining almashtirish shemasini koʻrib oʻtamiz (2.1 – rasm).



2.1 – rasm. Yuklamaga ulangan EUL almashtirish sxemasi

Elektr tizimining induktiv elementidan oʻtayotgan tok, ta'minlovchi kuchlanishning fazasidan 90 el. grad. orqada qoladi.

Elektr tarmogʻiga ulangan elektr iste'molchilarning katta qismi aktiv va induktiv yuklamani oʻz ichiga oladi.

Kuchlanish va tok orasidagi burilish burchagi iste'mol qilinayotgan aktiv R reaktiv Q quvvatlarning nisbatidan aniqlanadi, bunda kuchlanish va tok orasidagi oʻrtacha statik burilish burchak 30 el. grad. qiymatga teng deb hisoblanadi. Lekin katta sigʻimni tashkil etuvchi yuqori kuchlanishli liniyalarda etarlicha kompensatsiya qilinishi mumkin. Bu holatni yuklamali EUL ish tartibini modellashtirishda, almashtirish sxemasining elementlari va tugunlarida kuchlanish darajasi va tok qiymati, liniyaning boshidagi ta'minlash manbasini kuchlanishida

quvvat koeffitsientini hisobga olish kerak. Almashtirish sxemasi (2.1 - rasm) va vektor diagrammadan (2.2 - rasm) kelib chiqadiki, EUL boʻylama oqadigan I₁ liniya toki yuklama tokining aktiv va induktiv tashkil etuvchilari va liniya sigʻim tokining yigʻindisiga teng. Ushbu toklar EUL ning X va R qarshiliklaridan oqib oʻtib, toʻla kuchlanish yoʻqotilishining mos ravishda tashkil etuvchilarini keltirib chiqaradi.

Yuklama va liniyaning sigʻim toklarining nisbati barcha tizimning kuchlanishi va quvvat tartiblariga bogʻliq boʻladi.



2.2 – rasm. Yuklamaga ulangan EUL bir fazasining vektor diagrammasi

Yuklamali tartibda liniyada sigʻimni mavjudligi quyidagilarga olib keladi:

1. I_{B2} sigʻim toki X induktiv qarshilikdan oqib oʻtgandagi kuchlanishni yoʻqotilishi umumiy kuchlanishni pasayishiga olib keladi.

2. EUL zaryad quvvati yuklamaning induktiv reaktiv quvvatini qisman kompensatsiyalashdi, bu esa elektr uzatishning quvvat koeffitsientini oshiradi ($\varphi_1 < \varphi_2$).

Ushbu savollarga mustaqil nazariy tayyorgarlik taklif etilgan adabiyotlarda keltirib oʻtilgan [2–5].

2.2. Yuklama ostidagi EUL ni modellashtirish

Simulink da yigʻilgan va aktiv – induktiv yuklamaga ulangan elektr uzatish liniyasining modeli salt yurishda ishlatayotgan model asosida hosil boʻladi. Bunda quyidagi qoʻshimcha elementlar kerak boʻladi:

1. Series RLC Load – RLC elementlari ketma – ket ulangan yuklama. Element SimPowerSystems kutubxonasining Elements boʻlimida joylashgan va quyidagi parametrlar yordamida xarakterlanadi: nominal voltage (nominal kuchlanishning haqiqiy qiymati), nominal frequency (nominal chastota), active power (aktiv quvvat), inductive reactive power (induktiv reaktiv quvvat), inductive capacitive power (sigʻim reaktiv quvvat).

2. *Scope* – virtual ossillograf. U oʻlchanadigan kattalikning oniy qiymatini oʻzida aks ettiradi va *Simulink* (*Sinks* boʻlimi) kutubxonasida joylashgan. Sichqonchani chap tugmasini *Scope* belgisiga bosganda ekran paydo boʻladi, unda modellashtirish jarayonini oniy qiymati vaqt diagrammasi koʻrinishida aks ettiriladi. Ossillograf menyusining umumiy koʻrinishi 2.3–rasmda keltirilgan, u orqali kerakli sozlanmalarni amalga oshirish mumkin.



2.3-rasm. Virtual ossillograf menyusining umumiy koʻrinishi

Uning asosiy sozlanmalari 1-paremetrlar (*Parameters*) tugmani bosish bilan *Number of axes* (oʻqlar soni) va *Time range* (vaqt intervali) namoyon boʻladi. Birinchi parametr ossillografga nechta alohida kirish mavjudligini, ikkinchisi esa ekranda aks ettiriladigan intervalni sekund boʻyicha vaqtini rostlaydi. 2-tugma (*Zoom*) aks ettirish masshtabini oʻzgartirish imkonini beradi. 3- (*Zoom X-axis*) yoki 4-tugmani (*Zoom Y-axis*) bosish esa X yoki Y oʻq boʻyicha masshtabini oʻzgartirish mumkin. 5-tugma (*Autoscale*) diagrammaning masshtabi avtomatik beriladi. 3. *Mux* – ikki skalyar signalni bir vektorga birlashtirish imkonini beruvchi element, u *Simulink* kutubxonasining *Signal Routing* boʻlimida joylashgan. Kirishlar sonini oʻzgartirish imkoni mavjud. (*Number of inputs*).

Barcha kerakli boʻlgan elementlarni bir – biriga ulab imitatsion modelni hosil qilamiz (2.4–rasm).



2.4-rasm. Yuklama bilan ishlaydigan EUL imitatsion modeli

2.3. Ishni bajarish tartibi

1. Mathlab dasturini ishga tushirish va Simulink kutubxonasini oching.

2. EUL modeli fayli bazasida (1–laboratoriya ishlari) yuklamali liniyaning yangi fayl modelini yarating.

3. Yangi hosil qilingan model oynasiga mos ravishda kerak boʻlmagan elementlarni oʻzgartirish va yangilarni kiriting (2.2–boʻlim va 2.4–rasmga qarang).

4. Variantga muvofiq ravishda yangi elementlarning parametrlarini 1.1–jadvaldan oling.

5. Hisoblovchi parametrlarning berilishini toʻgʻriligi tekshirilgandan soʻng modelni hisoblashni ishga tushuring.

6. Modellashtirish bajarilishi tugallangandan soʻng oʻlchov asboblarining parametrlarini qayd eting.

7. Yuklama ostidagi EUL ish tartibi tadqiq qilingandan soʻng olingan natijalarni 2.1 – jadvalga kiriting shu bilan birga barcha tadqiq qilinadigan parametlar ossillogrammalarini keltirish va yuklama ostida

ishlayotgan liniya uchun toklar va kuchlanishlar vektor diagrammasini koʻring.

8. Olingan natijalarni salt yurishdagi EUL modellashtirish natijalari bilan taqqoslang.

9. Sigʻim oʻtkazuvchanlikni EUL kuchlanish tartibiga ta'siri haqida xulosa chiqaring, sinov savollariga javob bering va bajarilgan laboratoriya ishining hisobatini rasmiylashtiring.

2.1-jadval

	Oʻlchanadigan kattaliklarning haqiqiy qiymati									
EUL ish tartibi	I ₁ , A	I ₂ , A	I_l, A	$U_1 kV$	U ₂ , kV	φ ₁ el. grad	φ ₂ , el. grad			
Yuklama										

Yuklama bilan ishlayotgan EUL tadqiq qilish natijalari

Sinov savollari

1. Yuklamali ish tartibidagi liniyaning oxiridagi kuchlanish qanday hosil boʻlishini tushuntiring?

2. Yuklama tartibidagi EUL toklari va kuchlanishlarining vektor diagrammasi qanday quriladi?

3. Yuklama ostidagi EUL ish tartibida taqsimlangan sigʻim tok va kuchlanishga ta'siri qanday aniqlanadi?

3–Laboratoriya ishi Bir fazali transformatorni modellashtirish

Ishdan maqsad: aktiv qarshilik bilan yuklangan bir fazali transformatorni tadqiq qilish.

Topshiriq:

1. Salt ishlash va qisqa tutashuv tajribasi yordami bilan almashtirish sxemasining parametrlarini aniqlash.

2. Transformatorning yuklamali va ishchi xarakteristikalarini olish.

Topshiriqni bajarishga oid koʻrsatma

Bir fazali transformatorni tadqiq qilish modeli 3.1–rasmda koʻrsatilgan. Model quyidagilardan tashkil topgan:

• E₁ o'zgaruvchan kuchlanish manbasi, *Power System Blockset/ Electrical Sources* kutubxonasida;



3.1-rasm. Bir fazali transformatorni tadqiq qilish modeli

• Transformatorning birlamchi va ikkilamchi zanjirlaridagi V_1 , V_2 kuchlanish oʻlchagichlar va I_1 , I_2 tok oʻlchagichlari *Power System Blockset/Measurement* kutubxonasida;

• Tadqiq qilinadigan transformator (*Linear Transformer*) va yuklama (*R Load*) *Power System Blockset/ Elements* kutubxonasida;

• Transformatorning birlamchi va ikkilamchi zanjirlaridagi (P1, Q1; P2, Q2) aktiv va reaktiv quvvatlarni oʻlchagichlari *Power System Blockset/Extras/Measurement* kutubxonasida;

• Foydalanuvchi bloki (*Powergui*), **V1**, **V2**, **I1**, **I2** ning qiymatini o'lchaydi;

• *Display1*, *Display2* bloklari, oʻlchangan quvvatlarni miqdoriy tasvirlash va *Scope* bloki esa, ikkilamchi zanjirdagi tok va kuchlanishni egri chizigʻini kuzatish uchun lozim boʻlib, *Simulink/Sinks* bosh kutubxonaning bloki hisoblanadi.

Transformatorning parametrlari 3.1-jadvalda keltirilgan.

					3.1–jadv	val
Transformator turi	S _N ,	U _K ,	P _K ,	P ₁₀ ,	I ₁₀ ,	
	kVA	%	Vt	Vt	%	
TS-10/066	10	4,5	280	90	7	
TS-16/066	16	4.5	400	125	5,8	
TS-25/066	25	4,5	560	180	4,8	
TS-40/066	40	4,5	800	250	4	
TS-63/066	63	4,5	1090	355	3,3	
TS-100/066	100	4,5	1500	500	2,7	
TS-160/10	160	4,5	2060	710	2,3	1

Quyida TS–100/066 turidagi transformator tadqiq qilinadi. Transformatorning parametrlarini sozlash oynasi 3.2–rasmda koʻrsatilgan. Unda quyidagilar ketma–ket beriladi:

• transformatorning quvvati va chastotasi;

• birlamchi chulgʻamni haqiqiy kuchlanishi va almashtirish sxemasining nisbiy parametrlari;

• ikkilamchi chulgʻamni haqiqiy kuchlanishi va almashtirish sxemasining nisbiy parametrlari;

- magnitlanish shaxobchasining nisbiy parametrlari;
- transformator o'zgaruvchan holatini Multimeter orqali o'lchanadi;

Block Parameters: Linear Transformer	×
Linear Transformer (mask) (link)	
Three windings linear transformer.	
Параметры	
Nominal power and frequency [Pn(VA) fn(Hz)]:	
[1e5 50]	
Winding 1 parameters [V1(Vms) R1(pu) L1(pu)]:	
[660 0.0075 0.022]	
Winding 2 parameters [V2(Vms) R2(pu) L2(pu)]:	
[400 0.000755 0.022]	
Three windings transformer	
Magnetization resistance and reactance [Rm(pu) Lm(pu)]:	
[500 377]	_
Measurements None	-
ОК Отмена Помощь Принять	1

3.2–rasm

Modomiki *Multimeter* bloki ishlatilmasa, u holda Measurement maydonidagi tushgan menyudan *None* opsiyasini tanlash kerak.

Ta'minlash manbasining parametrlarini sozlash oynasi 3.3-rasmda koʻrsatilgan.

Oynaning maydonlarida quyidagilar beriladi:

- manbaning amplitudasi (V);
- boshlangʻich faza, gradusda;
- chastota (Hz);
- vaqt namunasi (s);
- oʻzgaruvchanlar, Multimeter blokidan oʻlchanadi.

lock Parameters: E 🛛 🔠	
AC Voltage Source (mask) (link) Ideal sinusoidal AC Voltage source.	Block Parameters: R Load
Параметры Peak amplitude (V):	- Series RLC Branch (nask) (ink) Implements a series RLC branch.
550	Параметры
Phase (deg):	Resistance R (Ohms):
0	Œ
Frequency (Hz):	Inductance I. (H):
50	jo
Время выборни:	Capacitance C (F):
0	h.
Measurements None	Measurements None
ОК Отмена Помощь Принять	ОК Отнене Понощь Принто

3.3-rasm

3.4-rasm

Block Parameters: P1,Q1 🛛 🕮	Block Parameters: Display				
- Active & Reactive Power (nask) (ink)	Display				
This block measures the active power P and reactive power Q	Чистенное отображение входных значений.				
associates who periods set or volage and unless who may contain harmonics. P and Q are calculated by averaging the V/J product with a running window over one cycle of the fundamental frequency so that the powers are evaluated at fundamental frequency.	Параметн Формат: фос				
A positive current flowing into a RLC branch will porduce positive active	Прореживание:				
and reactive powers.	5				
Пераметры	Г Подвижное отображение				
Fundamental frequency (Hz)	Оточет времены (-1 для наследованыя):				
R.	þ				
ОК Отнина Помощь Пренти	ОК Отмена Помощь Полити				
3.5-rasm	3.6-rasm				

Manbaning kuchlanishi va chastotasi transformatorning parametrlari bilan mos kelishi kerak.

Yuklamaning parametrlarini sozlash oynasi 3.4-rasmda koʻrsatilgan. Unda yuklamaning *R*, *L*, *Q* parametrlari beriladi. Reaktiv qarshilik boʻlmaganda induktiv qarshilik nolga teng, sigʻim esa cheksiz (*inf*) deb berilishi kerak. Quvvat oʻlchagichning parametrlarini sozlash oynasida aktiv va reaktiv quvvatning chastotasi koʻrsatiladi (3.5-rasm). Displeyni sozlash oynasi 3.6-rasmda koʻrsatilgan. Sozlash oynasida sonli natijalarni tasvirlash formati koʻrsatiladi, Decimation da esa hisoblash qadamlarining soni beriladi, u orqali displeyga chiqariladi.

Ishni bajarish uchun kerakli boʻlgan transformatorning turi oʻqituvchi tomonidan beriladi. Mustaqil ishda esa ushbu ma'lumotlarni 3.2–rasmdan olishlari mumkin. Almashtirish sxemasining parametrlarini aniqlash va ularni sozlash oynasida berilganlar bilan taqqoslash salt ishlash va qisqa tutashish usuli yordami bilan amalga oshiriladi. Salt ishlashda yuklama oʻchirilgan, transformator nominal kuchlanish bilan ta'minlangan. Salt ishlashda transformatorning kuchlanishi va tokining hiqiqiy qiymati *Powergui* blokining oynasida aniqlanadi (3.8–rasm).

Eslatib oʻtamizki, salt ishlash tajribasida aktiv quvvat transformatorning oʻzagidagi isrofga teng.

Transformatorning almashtirish sxemasining parametrlari nisbiy birliklarda keltirilgan.

Block Parameters: Linear Transformer 🛛 🛛 🗙
Linear Transformer (nask) (link)
Three windings linear transformer.
Параметры
Nominal power and frequency (Pn(VA) In(Hz)):
[250 50]
Winding 1 parameters (V1(Vine) R1(pu) L1(pu)):
[220 0.02 0.09]
Winding 2 parameters [V2[Vine) R2[pu] L2[pu])
[100 0.02 0.08]
F [Three windings transforme]
Winding 3 parameters [V3[Vims] R3(pu) L3(pu)):
[100 0 02 0 08]
Magnetization resistance and reactance [Rm(pu) Lm(pu)]:
(500 500)
Measurements None
ОК. Отнена Доноць Дринять

3.7-rasm. Bir fazali liniya transformatorni sozlash oynasi



3.8-rasm. Powergui blokini oʻlchov natijalar bilan oynasi

Transformator parametrlarining asosiy qiymatlari quyidagilar: hisobiy toʻla S quvvat, P (VA) kabi belgilanadi, nominal chastota (Hz), mos ravishda chulgʻamlarning haqiqiy nominal kuchlanishi (V). Har bir chulgʻam uchun nisbiy qarshilik va induktivlik quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$R_n(pu) = \frac{R_n}{Z_{bn}}; L_n(pu) = \frac{X_n}{Z_{bn}}, \text{ bu erda } Z_n = \frac{U_n^2}{S}$$

Transftormator parametrlarini nisbiy birlikda berishini qulayligi shundaki, birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning nisbiy qarshilik va induktivligini tengligidir.

Transformatorning nisbiy parametrlarini hisoblash ishlab chiqargan korxonaning pasport ma'lumotlari va tenglamalar asosida amalga oshiriladi:

$$R_{m} = \frac{R_{0}}{Z_{b}} = \frac{S}{U_{1}I_{10}\cos\varphi_{0}}, \ L_{m} = \frac{x_{0}}{Z_{b}} = \frac{S}{U_{1}I_{10}\sin\varphi_{0}}, \ \varphi_{0} = \arccos\frac{P_{10}}{U_{1}I_{10}}$$
$$R_{1} = R_{2}^{'} = \frac{R_{k}}{2Z_{b}} = \frac{SU_{k}\cos\varphi_{k}}{2U_{1}^{2}I_{n}}, \ L_{p1} = L_{p2}^{'} = \frac{x_{k}}{2Z_{b}} = \frac{SU_{k}\sin\varphi_{k}}{2U_{1}^{2}I_{n}},$$
$$\varphi_{k} = \arccos\frac{P_{k}}{U_{k}I_{n}}$$

Misol sifatida 3.1–jadvalda TS–16/066 transformatorning pasport ma'lumotlari keltirilgan. Qisqa tutashuv kuchlanishi va salt ishlash kuchlanishi nominalga nisbatan foizda berilgan. Bunda transformatorning nominal tokini quyidagi ifoda orqali aniqlash kerak

$$I_n = \frac{S}{U_1}$$

Qisqa tutashuv tajribasi ikkilamchi zanjirni qisqa tutashtirib amalga oshiriladi. Bunda ta'minlash manbasining kuchlanishi transformatorning qisqa tutashuv kuchlanishiga teng bo'ladi ($U_K=29,7 V$).

Eslatib oʻtamiz, qisqa tutashuv tajribasida qisqa tutashuv birlamchi toki nominalga teng boʻlganda aktiv quvvat transformator chulgʻamlaridagi isrofdan aniqlanadi. Tajribalar va parametrlarni hisoblagandan soʻng parametrlar oynasida berilganlar bilan taqqoslash kerak (3.2–rasm).

Transformatorning yuklama va ishchi xarakteristikasini olish modelda yuklama qarshiligini oʻzgarishi $(0,2\div1,2)$ R_{nom} da amalga oshiriladi. Bunda yuklama qarshiligini har bir qiymati uchun

modellashtirish amalga oshiriladi. Yuklamaning nominal qarshiligini quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$R_{nom} = \frac{U_1^2}{S}$$

Izlanishlar olib borilishda 3.2-jadval toʻldiriladi.

3.2-jadval

Yukl.				Н	lisoblash	ı					
R _n ,	R ₁ ,	Q ₁ ,	U ₁ ,	I ₁ ,	R ₂ ,	Q2,	U ₂ ,	I ₂ ,	φ ₁ ,	$cos\phi_1$	η
Om	Vt	VAr	V	A	Vt	VAr	V	A	grad	grad	

Hisoblash quyidagi ifoda boʻyicha amalga oshiriladi:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \ \varphi_1 = arctg \, \frac{Q_1}{P_1} \; .$$

Jadval natijalari asosida transformatorning yuklama xarakteristikasi va alohida rasmda ishchi xarakteristikasi quriladi.

Topshiriq natijalarini bajarish quyidagilardan tashkil topgan:

• model va vertual blok sxemasi;

• berilgan va transformatorning qisqa tutashuv va salt ishlash tajribasidan olingan parametrlarini taqqoslash jadvali;

- transformatorning $U_2 = f(I_2)$ yuklamali xarakteristikasi;
- transformatorning η , $cos\varphi_1$, I_1 , $U_2 = f(I_2)$ ishchi xarakteristikasi;

Sinov savollari

1. Transformatorning asosiy xarakteristikalarini sanab bering;

2. Transformatorda isrofning strukturasi va ularning manbasi nima;

3. Asosiy transformatsiya koeffitsientlari.

4–Laboratoriya ishi Uch fazali transformatorni tadqiq qilish

Ishdan maqsad: birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlari turlicha ulangan uch fazali transformatorni tadqiq qilish.

Qisqacha nazariy ma'lumot

Transformator deb ikki yoki bir necha chulgʻamga ega elektromagnit induksiya hodisasidan foydalanuvchi bir tizimning tok va kuchlanishini boshqa tok va kuchlanishga oʻzgartiruvchi statik elektromagnit uskunaga aytiladi. Elektr energiyani uzoq masofalarga uzatishda transformatorlar katta ahamiyatga ega, chunki bu holatda elektr energiya iste'molchiga etib borguncha past kuchlanish yuqori kuchlanishga va teskarisiga bir necha karra (3–5 marta) oʻzgartirishga toʻgʻri keladi.

Bir fazali transformator uchun olingan energetik munosabat uch fazali tarmoqning yuklamasi simmetrik tartibda boʻlganida, uch fazali transformator uchun ham oʻrinli boʻladi.

Uch fazali transformatorning oʻziga xosligi, uning birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarining ulanish usuli hisoblanadi. Chulgʻamlar yulduz (Y) yoki uchburchak (Δ) ulanishi mumkin. Transformatorning yuqori va past kuchlanish chulgʻamlarining toʻla ulanishlar soni 12 ta hisoblanadi.

Chulgʻamlar yulduz ulanganda nol oʻtkazgich ham ishlatilishi mumkin. Chulgʻamlarning ulanish usuli transformatorning kirishidagi va chiqishidagi faza kuchlanishlarining nisbati va faza kuchlanishlarining siljishiga ta'sir etadi.

Transformatorlar faza siljishiga bogʻliq holda guruhlarga boʻlinadi. Guruh raqami birlamchi va ikkilamchi tomondagi bir nomdagi liniya kuchlanishlarining orasidagi 30^0 ga boʻlingan faza siljish burchagidan aniqlanadi.

Topshiriq:

1. "Yulduz–yulduz" (Y/Y) ulangan transformatorning parametrlarini aniqlash.

2. "Yulduz–uchburchak" (Y/ Δ) ulangan transformatorning parametrlarini aniqlash.

3. "Uchburchak–uchburchak" (Δ/Δ) ulangan transformatorning parametrlarini aniqlash.

4. "Uchburchak–yulduz" (Δ /Y) ulangan transformatorning parametrlarini aniqlash.

Virtual laboratoriya qurilmasining tavsifi

Virtual laboratoriya qurilmasi 4.1-rasmda keltirilgan.

Bir fazali transformator modelidan farqli ravishda bu holda asosiy xarakteristikalarni oʻlchash uchun bloklar ishlatilmaydi (uch fazali transformator va bir fazali transformatorning asosiy xarakteristikalari bir xil), lekin transformatorning toki va kuchlanishini oʻlchovchi Multimetr bloki qoʻshilgan. Ushbu toklarning qiymatlarini *Powergui* blokining oynasi hisoblab beradi. U erda kirish U₁ va chiqish U₂ kuchlanishlari va ular orasidagi faza farqi olinadi.



4.1-rasm. Uch fazali transformatorning modeli

Uch fazali transformatorning parametrlarini sozlash oynasi 4.2– rasmda keltirilgan. Bir fazali transformatorning parametrlarini sozlash oynasidan farqli ravishda, unda ikkita qoʻshimcha maydon mavjud:

- Winding 1 (ABC) connection - birlamchi chulgʻamlarning ulanish sxemasi;

– Winding 2 (ABC) connection – ikkilamchi chulgʻamlarning ulanish sxemasi.

Measurement maydonida Winding Voltage operatsiyasi tanlangan, unda chulgʻamning kuchlanishi oʻlchanadi.



4.2-rasm. Uch fazali transformatorning parametrlarini sozlash oynasi

Tajriba ishni bajarish tartibi

Tajriba ishini bajarish tartibi topshiriqning barcha 4 punkti uchun oʻzgarishsiz qoladi. Ta'minlash manbasining *Inductive source* parametrlari (4.1–rasm) transformatorning parametrlariga mos qilib olinadi. Ta'minlash manbasining parametrlarini sozlash oynasi 4.3–rasmda keltirilgan.

Modellashtirishning parametrlari 4.4-rasmda koʻrsatilgan.

Topshiriqning har bir punkti uchun modellashtirish va 4.1–jadval alohida toʻldiriladi.

4.1-jadval

									J
Illaniah			(Oʻlch	Hisoblash				
Utallisli	U _{1f} ,	I _{1f} ,	U ₁ ,	φ1	U _{2f} ,	I _{2f} ,	U ₂ ,	φ ₁₂	Transformatsiyalash
SXEIIIASI	V	Α	V	grad	V	А	V	grad	koeffitsienti



4.3-rasm. Uch fazali manbaning parametrlarini sozlash oynasi

) Simulation Param	neters: Lab_6_2_1		
Solver Workspace I	Diagnostics Advanc	ed Real Time Works	hóp
Simulation time		and the second	
Startiume: 0.0	Stop time: 0.1	and the second	
Solver options	A LA CALL AND AND AND AND	and a state of any la	10.1
Type: Variable-step	ode23tb (stiff/TF	1-8DF2)	
Max step size au	to Helative t	derance: auto	
Mintalino see au	to JAhsokae	elevance: auto	
Indial step size" au	to		
Output options			
Refine output	E Pok	Flacts 1	
	The state		
			卿

4.4-rasm. Modellashtirish parametrlari

4.5–rasmda Powergui blok oynasini chulgʻamlarning ulanish sxemasi "yulduz–yulduz" uchun modellashtirish natijalari koʻrsatilgan. Chap tomondagi kolonkada oʻlchanadigan kattalik, oʻrtada ularning haqiqiy qiymati, oʻngda esa ularning boshlangʻich fazalari keltirilgan. Transformatsiyalash koeffitsienti va kiruvchi (U_1) va chiquvchi (U_2) kuchlanishlar orasidagi fazalar farqi quyidagi farmula orqali hisoblanadi:

 $\eta = \frac{U_1}{U_2}, \ \varphi = \varphi_1 - \varphi_2.$

4.5-rasm. Chulgʻamlar Y/Y ulanganda modellashtirish natijalari

4.6-rasmda Multimetr blokini grafigi keltirilgan.



4.6-rasm. Multimetr blokini grafik oynasida modellashtirish natijalari

Sinov savollari

1. Uch fazali transformatorning konstruksiyasini oʻziga xosligi nimadan iborat?

2. Chulgʻamlarni ulanish sxemasi va guruhi qanday?

3. Uch fazali tarnsformatorning asosiy parametrlari qanday aniqlanadi?

5 – laboratoriya ishi Taqsimlovchi elektr tarmoqlarini tadqiq qilish

Ishdan maqsad: uch fazali elektr tarmogʻini modelini tuzishni oʻrganish, taqsimlovchi elektr tarmoq tizimini modellashtirishda bilimga ega boʻlish.

5.1. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarini modellashtirish

Taqsimlovchi tarmoq deb elektr energiya iste'molchilari ulangan tarmoqqa aytiladi. Ushbu tarmoqlarning kuchlanishi qoidaga asosan 20 kV gacha kuchlanishni tashkil etadi. Ta'minlovchi tarmoqqa nominal kuchlanishi 35 va undan yuqori tarmoq kiradi.

Ba'zi hollarda 35 va 110 kV kuchlanishli tarmoqlar shaxobchalanishi mumkin, ularni ham Taqsimlovchi tarmoq deb atash mumkin.

Hozirgi vaqtda elektr energiyasining koʻpchilik iste'molchilari 10 (6) va 0,4 kV tarmoqdan ta'minlanadi, shuning uchun bu tarmoqlarga katta e'tibor beriladi.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarni tadqiq qilish uchun uch fazali koʻrinishni qoʻllash maqsadga muvofiqdir (5.1–rasm).

10 kV kuchlanishli uch fazali tarmoq (5.1–rasm), magistral turdagi tarmoq hisoblanadi. Iste'molchilar (A, B, D, E) 0,4 kV kuchlanishili beshta tarmoqdan ta'minlanadi, ular oʻz navbatida taqsimlovchi transformator T1–T5 orqali asosiy magistralga ulangan.

Ushbu uch fazali tarmoqni imitatsion modelini tuzishda quyidagi elementlar talab etiladi:

1. 3–Phase Source – uch fazali oʻzgaruvchan kuchlanish manbai. Ushbu element SimPowerSystems kutubxonasining Electrical Sources ta'minlash manbalar boʻlimida joylashgan. U liniya kuchlanishining haqiqiy qiymati (phase–to–phase rms voltage), chastotasi (frequency), manba fazalarini ulanish sxemasi (internal connection) sozlanmalaridan tashkil topgan. Chulgʻamlarning ulanishini koʻrinishi: Y–yulduz; Yn– nol oʻtkazgichli yulduz; Yg–neytrali zaminlangan yulduz. 2. Three–phase Transformer (Two Windings) – uch fazali ikki chulgʻamli kuchlanish transformatori. Element SimPowerSystems kutubxonasining Elements boʻlimida joylashgan.



5.1–rasm. Uch fazali taqsimlovchi tarmoqning koʻrinishi: BPT–bosh pasaytiruvchi transformator; T1–T5–taqsimlovchi transformatorlar

Blokning parametrlari: to'la nominal quvvat va chastota (nominal power and frequency); winding 1 (ABC) connection birlamchi chulg'amning ulanish sxemasi, uning aktiv R1 va induktiv L1 qarshiligi. Elementning parametrlari nisbiy (kattaliksiz) birliklarda beriladi (inglizcha belgilanishi p.u.).

Qarshiliklar va induktivliklarni SI birliklar tizimidan p.u. nisbiy birlikka oʻtkazish quyidagi ifoda orqali amalga oshiriladi:

$$R = 0.002 \frac{U^2}{S}$$

$$L = 0.08 \frac{U^2}{314S}$$

bu erda, U – transformator chulgʻamining nominal kuchlanishi, kV; S – transformatorning nominal quvvati MV·A

Transformatorning ikkilamchi chulgʻami uchun quyidagi parametrlar qabul qilamiz: ikkilamchi chulgʻam fazalararo kuchlanishining haqiqiy qiymati (*Winding 2 parameters*), ikkilamchi chulgʻamning aktiv qarshiligi R2 va induktivligi L2; ikkilamchi chulgʻam fazalarining ulanish sxemasi (winding 2 (abc) connection).

3. **3-phase Series RLC Branch** – uch fazali *RLC* elementlar ketma-ket ulangan kontur. Sistemaning elementi *SimPowerSystems* kutubxonasining *Elements* boʻlimida joylashgan. Uning xarakteristikasi xuddi *Series RLC Branch* bloki kabi boʻladi. Ushbu blok EUL uchastkasini modellashtiradi.

4. **3-phase Series RLC Load** – uch fazali *RLC* yuklamalar ketmaket ulangan kontur. Ushbu blok *SimPowerSystems* kutubxonasining *Elements* boʻlimida joylashgan.

Yuqorida sanab oʻtilgan elementlardan tashqari modellashtirish uchun kuchlanishning haqiqiy qiymatini oʻlchovchi blok (*RMS*) kerak boʻladi.

Modellashtirish jarayonida subtizimlardan faydalanish qulay, chunki bloklarni bitta blokka birlashtiradi. Buning uchun maxsus nimtizim (yoki *Subsystem*) ishlatiladi, u Simulink modelning bir qismi hisoblanadi, alohida blok koʻrinishida boʻlib oʻzining kirish (*Inport*) va chiqishiga (*Outport*) ega.

Modellashtirishda bunday bloklarni ishlatishning quyidagi qulayligi mavjud:

1) ishchi hududda aks etadigan bloklar soni kamayadi, barcha modellarni oʻzlashtirishni osonlashtiradi;

2) modelning alohida qismlarini yigʻish va sozlash imkoniga ega, bu modellarni yigʻish texnologiyasini osonlashtiradi;

3) shaxsiy kutubxona elementlarini yaratish imkonini beradi.



5.2 – rasm. 0,4 kV kuchlanishli tarmoq uchastkasi modelini nimtizim koʻrinishi

Nimtizim asosiy model bilan kirish (*Inport*) va chiqish (*Outport*) kuch portlari, yoki ularga analogli boʻlgan oʻlchov portlari orqali bogʻlangan. Ushbu portlarni nimtizimlarga qoʻyish bu portni nomi va nomerini nimtizimning yuqori tomonida avtomatik amalga oshiriladi. Nimtizimni yaratish modelni biror bir qismini ajratib olish va *Edit* menyusidan *Create Subsystem* buyruqlarini bajarish orqali amalga oshiriladi. Natijada ajratib olingan fragment mos portga ega

nimtizimning bitta blokiga almashtiriladi. Yangi nimtizim blokini sichqoncha bilan bosilsa yangi oynada uning ichidagi bor narsalar ochiladi. Bu esa blokdagi mavjud narsalar bilan alohida model kabi mos ravishda tahrir qilish ishlarini amalga oshirish mumkin. Laboratoriya ishlarini bajarishda nimtizim sifatida 0,4 kV kuchlanishli tarmoq ishlatiladi. Chiqish parametrlari sifatida liniyaning boshidagi (Un) va oxiridagi (Uk) tarmoq kuchlanishining haqiqiy qiymati ishlatiladi. Toʻrtta yuklama bilan 0,4 kV kuchlanishli tarmoq uchastkasining nimtizimi 5.2–rasmda koʻrsatilgan.

5.2. Ishni bajarish tartibi

1. *MatLab* dasturini ishga tushirishng va *SimPowerSystems* kutubxonasini oching.

2. *File/New/Model* buyruqlarni bajarish yoʻli bilan modelni yangi faylni yarating.

3. Uch fazali elektr ta'minoti tizimini modellashtirish uchun *Simulink* bo'limini oching va 0,4 kV tarmoq qismini modellashtirish uchun Simulink dan kerakli bo'lgan elementlarni to'ldiring (5.1 bo'limga qarang).

4. Oʻzingizning variantingizga muvofiq holda 5.1 va 5.2–jadvaldan parametrlarni tanlang. 0,4 kV kuchlanishli tarmoq uchastkasining toʻla oʻtkazuvchanligi va qarshiligini qiymatini hisoblang, yuklamaning quvvatini aniqlang, elementlar parametrini bering, bloklarni 5.2– rasmdagi kabi yigʻing.

Koʻrib oʻtiladigan elektr tarmoqning modeli 5.3 – rasmda keltirilgan.

5. *Edit* menyusidan *Create Subsystem* buyrugʻini bajarib, tarmoqning qismini ajratib oling.

6. Yangi nimtizimni 0,4 kVli tarmoq soniga nusxa koʻchirib koʻpaytiring.

7. Elementlar boʻyicha asosiy magistralni yigʻing va uni BPT orqali uch fazali ta'minlash manbasiga ulang.

8. Olingan nimtizimni taqsimlovchi transformatorlar orqali asosiy magistralga 5.1 va 5.2–rasmda keltirilgan sxema boʻyicha ulang.

5.1–jadval

T	aasim	lovchi	tarmoq	element	larinino	parametrlari
10	aqonn.	10 v Cill	unnoq	ciciliciti	aining	parametrian

Description	Variant										
Parametr	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,4 kV tarmoq uchastkasining uzunligi, m											
l_1	10	50	45	15	35	25	20	40	35	10	
l_2	25	10	20	15	15	10	20	10	10	45	
l_3	15	20	10	20	20	25	10	15	5	15	
l_4	10	15	5	10	10	5	15	15	10	20	
0,4 kV tarmoq simining solishtirma qarshiligi, Om/km				(),63+j	j0,297	7				
0,4 kV tarmoq yuklamasining aktiv qarshiligi, kVt											
А	30	20	24	24	28	24	21	17	22	21	
В	22	24	20	18	20	18	20	20	25	20	
V	24	17	24	20	28	20	19	21	15	17	
G	18	21	18	14	18	14	15	15	18	19	
Yuklamada reaktiv quvvat koeffitsienti											
А	0,80	0,73	0,47	0,73	0,47	0,73	0,73	0,47	0,80	0,78	
В	0,88	0,82	0,78	0,82	0,73	0,82	0,82	0,78	0,88	0,88	
V	0,47	0,60	0,88	0,60	0,60	0,60	0,60	0,88	0,47	0,60	
G	0,73	0,82	0,60	0,88	0,82	0,88	0,82	0,60	0,73	0,88	
Taqs.transformator quvvati, kVA	400	630	400	400	630	400	630	400	400	630	



5.3 – rasm. Uch fazali taqsimlovchi eletr tarmogʻining imitatsion modeli

9. 5.1–boʻlimdagi tavsiyaga muvofiq transformatorlar parametrlarini bering.

10. Nazorat nuqtalariga oʻlchov asboblarini ulang (5.3-rasm).

11. Hisoblovchi parametrni bering va modelni hisoblash uchun ishga tushiring.

12. Laboratoriya ishi boʻyicha hisobotni tayyorlang, unda 0,4 kV li sxemada nimtizim va taqsimlovchi tarmoqni modeli boʻlishi lozim.

5.2-jadval

Parametr					Var	iant				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10 kV EUL uchastkasining uzunligi, km										
l_5	2,4	1,5	2,5	2,0	1,1	2,8	2,4	2,2	2,0	2,0
l_6	3,5	2,0	1,8	1,5	1,8	3,7	2,2	3,8	1,0	3,0
l_7	1,5	1,0	3,7	2,5	2,5	1,5	1,0	2,9	1,5	2,5
l_8	2,8	2,4	2,0	2,1	2,0	2,8	1,2	1,5	1,7	1,0
l_9	1,8	3,5	1,5	1,7	1,5	1,8	1,0	2,0	2,5	3,7
10 kV EUL oʻtkazgichining solishtirma qarshiligi, Om/km				0),33+	0,33	2			
Manba kuchlanishi, kV	110	220	220	110	220	110	110	220	110	220
BPT quvvati, MVA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Ta'minlovchi tarmoq elementlarining parametrlari

Sinov savollari

1. Taqsimlovchi va ta'minlovchi tarmoqlarni oʻziga xosligi farqini aytib bering?

2. Uch fazali transformator blokida qanaqa parametrlar birlamchi va ikkilamchi chulgʻamni ifodalaydi?

3. Simulink da nimtizimni yaratish uchun qanday blok ishlatiladi?

6 – laboratoriya ishi Elektr tarmoqni ish rejimini tadqiq qilish

Ishdan maqsad: uch fazali elektr tarmogʻini "P" koʻrinishli almashtirish sxemasi modelini tuzishni oʻrganish, taqsimlovchi elektr tarmoq tizimini modellashtirishda bilimga ega boʻlish.

6.1. Uch fazali elektr tarmogʻini modellashtirish

Tarmoqning birlamchi sxemasi ikki tarafdan ta'minlangan liniyani o'z ichiga oladi. Yuklama sifatida 3-phase Series RLC Load uch fazali RLC elementlar ketma-ket ulangan yuklama ishlatiladi. Ushbu blok Simulink kutubxonasining Sim Power Systems kutubxonasida joylashgan.

6.1-rasmda tarmoq ish tartibini tadqiq qilishning imitatsion modelining sxemasi keltirilgan.



6.1–rasm. Tarmoq ish tartibini tadqiq qilishning imitatsion modelining sxemasi

6.2. Ishni bajarish tartibi

1. *MatLab* dasturini ishga tushiring va Simulink kutubxonasini oching.

2. File/New/Model buyruqlar yordami bilan yangi fayl yarating.

3. Uch fazali elektr tarmogʻini modellashtirish uchun *Simulink* boʻlimlarini oching va *Simulink* dan kerakli elementlarni modellashtirish uchun yaratilgan oynaga qoʻshing.

6.1–jadval

Danamatu			-		Varia	ant				
Parametr	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Manba kuchlanishi U _l , kV	220	220	330	220	330	110	110	220	110	330
EUL uchastkasining uzunligi <i>l</i> _m , km	190	150	270	200	250	120	100	190	110	300
EUL solishtirma aktiv qarshiligi r ₀ , Om/km	0,21	0,21	0,13	0,21	0,13	0,46	0,3	0,21	0,46	0,131
EUL solishtirma induktiv qarshiligi x ₀ , Om/km	0,434	0,344	0,434	0,344	0,434	0,44	0,4	0,344	0,44	0,434
	80+ j60	70+ j60	120+ j100	60+ j60	110+ j100	40+ j20	55+ j20	90+ j60	110+ j100	120+ j100
U1 U5	60+ j80	50+ j80	100+ j120	60+ j80	115+ j120	40+ j20	30+ j20	60+ j80	115+ j120	90+ j70
liniyadagi vuklama, MVA	60+ j50	30+ j50	100+ j90	60+ j50	90+ j70	12+ j11	13+ j14	60+ j50	110+ j100	100+ j90
	80+ j60	76+ j60	120+ j90	80+ j60	100+ j90	30+ j15	40+ j15	80+ j60	115+ j120	100+ j120
	80+ j60	76+ j60	120+ j90	80+ j60	100+ j90	30+ j15	25+ j15	60+ j50	115+ j120	$1\overline{20+}$ j100

Elektr tarmogʻi ishlashini modellashtirish uchun ma'lumotlar

4. Elektr tarmogʻining ish tartibini modellashtirish uchun 6.1– jadvaldan oʻz variantingizga mos ravishda ma'lumotlarni oling. Bunda liniya transpornirlangan va manba bilan eng yaqin yuklama orasidagi liniya uchastkasi $l_{\rm m}$ oraliq, shuningdek yuklamalar orasi, barcha uchastkalarning qarshiligi oʻzaro teng deb hisoblanadi. 5. Modelda yuklama xarakterini tarmoq kuchlanishining tartibiga ta'sirini aniqlang. Oʻlchov natijalarini 6.2–jadvalga kiriting.

Yuklama xarakterini tarmoq kuchlanishining tartibiga ta'siri													
Yuklamani	Oʻlchov natijalari						Vektor diagramma va hisoblarining natijalari						
belgilanishi	U ₁ , B	$ \Delta U , B$	U 2, B	I ₂ , A	φ, grad	I _{2a} , A	I _{2p} , A	φ ₁ , grad	δU, B	R, Om	X, Om		
H_1													
H_2													
H_3													
H_4													
H_5													

6.2–jadval Yuklama xarakterini tarmoq kuchlanishining tartibiga ta'siri

6. 6.3–jadvalning ma'lumotlari boʻyicha va (6.1) formulani qoʻllagan holda $P=f(l_m)$, $Q=f(l_m)$, $U=f(l_m)$ grafiklarni EUL ta'minlashning uchta tartibi uchun quring.

$$\Delta P = \frac{\Pr + Qx}{U}l, \ \Delta Q = \frac{\Pr + Qx}{U}l \tag{6.1}$$

6.3-jadval

Kuchlanish boʻyicha yuklamalarni statik xarakteristikasini qurish uchun ma'lumot

Yuklamani	IZ a Suma (Oʻlchov	Turli k	uchlani	shda	koʻrsat	gichlar q	iymati
belgilanishi	Ko rsat.	birligi	$0.9U_n$	0.95U _n	U_n	1.05U _n	1.1U _n	1.15U _n
	I ₂							
Ц	φ2							
111	p ₁							
	q_1							
	I_2							
H_2	φ2							
	p ₂							

	\mathbf{q}_2				
	I_2				
П	φ ₂				
П3	p _{1s}				
	q_{1s}				
	I_2				
П	φ ₂				
Π4	p ₃				
	\mathbf{q}_3				
	I_2				
п	φ ₂				
П5	p ₅				
	\mathbf{q}_5				

7. Ikki tomondan ta'minlangan elektr uzatish liniyasini ishchi parametrlarini o'lchang va o'lchov natijalarini 6.4–jadvalga qo'ying

6.4-jadval

Ikki tomondan ta'minlangan elektr uzatish liniyasini ishchi parametrlari

		1								
EUL ish rejimini	UA,	IA,	φΑ,	U1,	U2,	U3,	U4,	UB,	IB,	φΒ,
xarakteri	В	А	grad	В	В	В	В	В	А	grad
UA=UB										
UA≠UB										
PAV UB=0										

Izoh. PAV – avariyadan keyingi ish tartib, bitta ta'minlash manbasi o'chirilgan bo'lsa.

8. Ikki tomondan ta'minlangan EUL turli ish rejimlari uchun aktiv va reaktiv quvvatlarini qiymatlarini oʻlchang va oʻlchov natijalarini 6.5–jadvalga qoʻying.

6.5–jadval

	r1	r2	r3	r4	RA	R1	R2	R3	RB		
UA=UB											
UA≠UB											
PAV UB=0											
	q1	q2	q3	q4	QA	Q1	Q2	Q3	QB		
UA=UB											
UA≠UB											
PAV UB=0											

Liniyani aktiv va reaktiv quvvatlarini oʻlchash ma'lumotlari

9. 6.5–jadval ma'lumotlari asosida elektr tarmogʻida koʻrilgan kuchlanishni rostlash usullari uchun kuchlanishni liniya uchastkasining uzunligiga bogʻliqligi $U = f(l_m)$ grafikni quring.

Sinov savollari

1. Nima uchun aktiv va reaktiv quvvat balansi boʻyicha boʻlinish nuqtalari mos kelmaydi?

2. Reaktiv quvvat balansining chegarasi nima?

3. Tizimni loyihalashda nima uchun avariyadan keyingi rejim hisoblanadi.

7 – Laboratoriya ishi Taqsimlovchi tarmoqda kuchlanish ogʻishini tadqiq qilish

Ishdan maqsad: tarmoq elementlarida kuchlanish isrofini aniqlash va ta'minlovchi transformator shinasida ruxsat etilgan kuchlanish ogʻish diapazonini hisoblashda amaliy koʻnikmalarga ega boʻlish.

7.1. Qisqacha nazariy ma'lumot

Elektr tarmogʻida oʻrnatilgan kuchlanish ogʻishi uzoq muddatli ravon kuchlanish oʻzgarishi deb nomlanadi. Ishchi kuchlanishni darajasi elektr energiya iste'molchilarining texnik–iqtisodiy koʻrsatgichlariga jiddiy ta'sir koʻrsatadi.

Kuchlanish ogʻishi uchun ikki turdagi normallangan qiymati oʻrnatilgan: normal ruxsat etilgan ($\pm 5\%$) va oxirgi ruxsat etilgan ($\pm 10\%$).

Bu koʻrsatgichlar shuni koʻrsatadiki, elektr energiya har bir sutkaning 95 % davomida normal ruxsat etilgan ogʻishdan koʻp boʻlmagan holda uzatiladi (22 soat 28 minut). Qolgan 5% (1 soat 12 minut) davomida ogʻish \pm 5% dan oshishi, lekin \pm 10% dan oshmasligi kerak.

Elektr ta'minoti shartnomasi elektr energiyani sotuvchi (energiya ta'minlovchi birlashma) va sotib oluvchi (abonent, iste'molchi) o'rtasidagi munosabatlarni o'rnatadi. Shartnoma elektr energiya nuqtasi uchun (hisoblash asboblari o'rnatiladigan nuqta) elektr energiyaning sifat ko'rsatgichlari talablarini hisobga oladi. Elektr energiyani qabul qiluvchi abonentlar chiqishlarigacha bo'lgan ushbu nuqta orqali bir necha iste'molchilar joylashgan bo'lib, undan turli masofada ta'minot oladi.

Shuni ta'kidlaymizki, GOST asosan, 0,4 kV kuchlanishli tarmoqlardagi elektr iste'molchilar chiqishlaridagi kuchlanish ogʻishini me'yorlarini oʻrnatadi.

Shuning uchun standartga mos ravishda tarmoq nuqtasining yuqori boʻlgan kuchlanishida hisobga olish nuqtasi zaruriy kuchlanish ogʻishini hisoblash, ushbu iste'molchilarning chiqishlaridagi kuchlanish ogʻishini me'yorlashtirishni ta'minlash zaruriyligidan kelib chiqadi. Iste'molchi va hisoblash nuqtasi orasida joylashgan tarmoq turli elektrik xarakteristikalarga ega boʻlishi mumkin, shuning uchun 0.4 kV tarmoq va undan yuqori boʻlgan kuchlanishli tarmoq uchun standartda oʻrnatilgan kattaliklarning farqi boʻlganda, bunga yoʻl qoʻyilishi mumkin. Aniq bir vaqt uchun bitta liniya va yuklamadan tashkil topgan tarmoqning biror nuqtasi uchun kuchlanishni hiqiqiy ogʻishini hisoblash unchalik qiyin emas.

Shunday boʻlsada, amaliy hisoblashlarni bajarishda u quyidagilarga bogʻliq boʻlgan ma'lum qiyinchiliklarni keltirishi mumkin:

– murakkab koʻrinishga ega tarmoq va abonentning ichki tarmogʻiga qabul qilgichlarni xilma–xil nuqtalari ulanishi, ularning kuchlanish isrofi turlicha.

– liniyada hisob nuqtasi va elektr qabul qilgichlarni ulanish nuqtalari orasida kuchlanishni rostlash qurilmasini mavjudligi. 0,4 kVli taqsimlovchi transformatorlar (T) beshta rostlovchi shaxobchadan $(0\pm2,5\% \text{ va } \pm5\%)$ iborat. Ushbu transformatorlar uzoq vaqt intervali davomida oʻzgarmas shaxobchada ishlaydi va ishchi shaxobchani oʻzgartirish uchun ularni tarmoqdan uzish kerak. Agar iste'molchiga tegishli boʻlgan hisob nuqtasi transformatorning 35–220 kV tomonida joylashgan boʻlsa, u holda 10 kV li shinada kuchlanishni rostlash uni oʻchirishsiz amalga oshiriladi. Bunaqa rostlash yuklama ostida rostlash (RPN) deb nomlanadi. 110 kV kuchlanishli transformator uchun diapazon $\pm 16\%$ tashkil etadi.

– yuklamani sutkali oʻzgarishi, bu elektr energiyani hisob nuqtasi va iste'molchilarni ulanish nuqtasi orasida kuchlanish isrofini keltirib chiqadi. Buning natijasida kuchlanish ogʻishining umumiy diapazoni hisob nuqtasi uchun toʻliq boʻlmaydi. Bu esa sutkaning turli davri uchun kuchlanish ogʻishining diapazonini aniqlash talab etadi.

Kuchlanish ogʻishining ruxsat etilgan chegaraviy diapazoni sifatida quyidagilarni qabul qilamiz: yuklama eng katta boʻlgan rejimda V_{b1} (quyi) va V_{b2} (yuqori), yuklama eng kichik boʻlgan rejimda V_{m1} (quyi) va V_{m2} (yuqori) belgilaymiz.

Keyin esa hisoblash uchun metod ishlatamiz, unga muvofiq avvalo tarmoqning tugunlaridagi ma'lum yuklamalari asosida kuchlanish isroflari hisoblanadi, keyin esa olingan natijalar asosida talabga muvofiq hisoblash nuqtasida kuchlanish ogʻishini darajasini aniqlaymiz. Taqsimlovchi tarmoq misolida kuchlanish ogʻishining ruxsat etilgan diapazonini hisoblash metodini koʻrib chiqamiz, uning sxemasi 7.1–rasmda keltirilgan.

7.1–rasmdagi sxema uchun yuklama minimal rejimda va ushbu rejimda kuchlanish isrofi tarmoq maksimal yuklamasidan 30% tashkil etadi.



7.1-rasm. 10/0,4 kV li taqsimlovchi tarmoq sxemasi

Taqsimlovchi tarmoqning kuchlanish ogʻishini ruxsat etilgan diapazonini hisoblashning ketma-ketligi

1. Yuklama eng katta boʻlgan rejimda asosiy pasaytiruvchi transformatorning 10 kVli shinasidan har bir RT ning 0,4 kVli shinasigacha kuchlanish isrofi quyidagi formuladan aniqlanadi

$$\Delta U_{k}^{'} = \sum_{i=1}^{k} \Delta U_{i} + \Delta U_{PTk}$$
(7.1)

2. Hisobiy nuqtada kuchlanishning maksimal darajasi hisoblanadi, ya'ni hisobiy nuqtada kuchlanish ogʻishining isrofi eng kichik boʻladigandagi talab aniqlanadi. Hisobiy nuqtada kuchlanishning ogʻishi +5% dan oshirmasa, agarda hisobiy nuqtada u quyidagidan katta boʻlmaydi

$$V_{b2} = 5 + \Delta U'_{1k \to \min} \tag{7.2}$$

3. Yuklama eng katta boʻlgan rejimda T1–T5 ning 0,4 kV li shinasida kuchlanish ogʻishi quyidagi formuladan aniqlanadi

$$\delta V_{k} = V_{b2} - \Delta U_{1} \tag{7.3}$$

4. Yuklama eng katta boʻlgan rejimda hisobiy nuqta uchun kuchlanish ogʻishining quyi chegarasi aniqlanadi, u ushbu rejimda 0,4 kV li tarmoqning eng uzoqdagi nuqtasining kuchlanish darajasi uchun talab aniqlanadi. Ushbu nuqtalar uchun kuchlanishning ogʻishi daraja boʻyicha aniqlanadi

$$\partial U_{kv} = \partial U_{k} - \Delta U_{ck} \tag{7.4}$$

 δU_{ky}^{\dagger} minimal boʻladigan tarmoq kuchlanish ogʻishini ruxsat etilgan diapazonining quyi chegarasini topishning aniqlovchisi hisoblanadi, u quyidagi formula orqali hisoblanadi

$$V_{b1} = V_{b2} - 5 + \delta U_{1k \to \min}$$
(7.5)

5. Yuklama eng kichik boʻlgan rejimda hisobiy nuqtadan T1–T5 ning 0,4 kV li shinasigacha oraliqda kuchlanish isrofi maksimal rejimning isrofidan 30 % gacha kamayadi, u quyidagi formuladan aniqlanadi

$$\Delta U_{k}^{''} = 0.3 \Delta U_{k}^{'} \tag{7.6}$$

 $\Delta U_k^{"}$ ning minimal qiymati kuchlanishning eng yuqori darajasini koʻrsatadi, shuning uchun aynan ushbu qiymat yuklama eng kichik boʻlgan rejimda ruxsat etilgan kuchlanish ogʻishining yuqori chegarasini aniqlaydi, u quyidagi formuladan aniqlanadi

$$V_{m2} = 5 - \Delta U_{k \to \min}^{"} \tag{7.7}$$

6. Yuklama eng kichik boʻlgan rejimda T1–T5 ning 0,4 kV li shinasida kuchlanish ogʻishining qiymati quyidagi formula orqali hisoblanadi

$$\delta U_{k}^{"} = V_{m2} - \Delta U_{k}^{"} \tag{7.8}$$

7. Yuklama eng kichik boʻlgan rejimda 0,4 kV li tarmoqning eng uzoqdagi nuqtasida kuchlanishning ogʻishi shu tarmoqdagi isrof darajasida kamayadi va quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$\delta U_{kv}^{"} = \delta U_{k}^{"} - 0.3\Delta U_{c\kappa} \tag{7.9}$$

8. Yuklama eng kichik boʻlgan rejimda kuchlanish ogʻishini ruxsat etilgan diapazonining quyi chegarasi yuklama eng katta boʻlgan rejimdagi kabi boʻladi.



 $V_{m1} = V_{m2} - (5 + \delta U_{1k \to \min})$ (7.10)

7.1–rasm. Ruxsat etilgan kuchlanish ogʻishi grafigining umumiy koʻrinishi

Bundan kelib chiqadiki, 7.1–7.10 formulalar orqali kuchlanish ogʻishining ruxsat etilgan qiymatlari diapazoni yuklama eng katta va eng kichik boʻlgan rejimda aniqlanib, bu diapazonni yuklamaga

bogʻliqlik grafigini hisoblash nuqtasi uchun chizish mumkin. 7.1– rasmda misol tariqasida shunday grafik koʻrsatilgan.

7.2. Ishni bajarish tartibi

1. *MatLab* dasturini ishga tushiring va 3–laboratoriya ishni bajarish davomida yaratilgan taqsimlovchi elektr tarmogʻi modelining faylini oching.

2. Modelni ishga tushiring.

3. Modellashtirish jarayoni tugashi bilan nazorat nuqtalaridagi voltmetrlarni koʻrsatgichlarini yozib oling va 10 kVli magistral va 0.4 kVli taqsimlovchi tarmoqning alohida uchastkasidagi kuchlanish isrofini aniqlang.

4. Isrofning qiymatini taqismlovchi tarmoqning kuchlanishiga keltiring va ularni 0.4 kV dan foizda ifodalang.

5. 10/0.4 kV ni hisobiy sxemasini tuzing (7.1–rasmga qarang) va unga kuchlanish isrofini foizdagi olingan qiymatini keltiring.

6. Kuchlanish ogʻishining yuqoridagi 7.1–7.10 formulalar boʻyicha koʻrsatilgan tartibda modellashtirilgan 10 kV li tarmoqning shinasida ruxsat etilgan kuchlanish ogʻishining diapazonini hisoblang. Kuchlanish ogʻishining ruxsat etilgan diapazonini yuklamaning oʻzgarishi boʻyicha grafigini chizing, sinov savollariga javob bering va tajriba boʻyicha hisobot tayyorlang.

Sinov savollari

1. Elektr energiyasining sifat koʻrsatgichlarini qaysi me'yoriy hujjat belgilaydi?

2. Kuchlanish ogʻishini turgʻunligi nima va uning qanday me'yorlashtirilgan qiymatlari belgilangan?

3. Elektr tarmoqlardagi kuchlanish ogʻishining sabablari nimadan iborat?

4. Ruxsat etilgan kuchlanish ogʻishi diapazonini aniqlash qanday faktorlar bilan bogʻliq va taqsimlovchi tarmoqning qaysi nuqtasi uchun hisoblanadi?

8 – Laboratoriya ishi EULda kuchlanishni rostlash usullarini tadqiq qilish

Ishdan maqsad: elektr tarmogʻining ish tartibini va kuchlanishni rostlash usullarni Simulink dasturida imitatsion modeli asosida tadqiq qilish.

8.1. Qisqacha nazariy ma'lumot

"Manba–EUL–iste'molchi" sxemasi asosidagi elektr tarmogʻining sigʻimli koʻndalang kompensatsiyasining hisobiy sxemasi 8.1–rasmda keltirilgan.



8.1–rasm. Elektr tarmogʻining koʻndalang kompensatsiyasi uchun hisobiy sxema

Ikkita ta'minot manbasi va shaxobchalangan EUL ni oʻz ichiga olgan elektr tarmogʻining sigʻimli boʻylama kompensatsiyasining hisobiy sxemasi 8.2–rasmda keltirilgan



8.2-rasm. Boʻylama kompensatsiyani oʻlchash uchun hisobiy sxema

Reaktiv quvvatni koʻndalang va boʻylama kompensatsiya yordamida kuchlanishni rostlash usullari keng tushuntirilgan [2].

Simulink dasturida sigʻimli koʻndalang kompensatsiyaning imitatsion modeli 8.3–rasmda keltirilgan



8.3–rasm. Sigʻimiy koʻndalang kompensatsiyaning imitatsion modeli

Model uch fazali ta'minot manbasi, uch fazali liniyaning Pko'rinishli almashtirish sxemasining bloki, kondensator batareyasi blokining elementlari va uch fazali RLC yuklamadan iborat.

Boʻylama kompensatsiya holati uchun tarmoqning imitatsion modelining koʻrinishi 8.3–rasmda keltirilgan.

Ushbu model quyidagilardan iborat: ikkita uch fazali ta'minot manbasining bloki, liniyaning har bir fazasiga ulangan liniyaning "P" koʻrinishli almashtirish sxemasining ikkita bloki, kondensator batareyasining uch fazali bloki va oʻlchov elementlari.



8.4-rasm. Tarmoqning koʻndalang kompensatsiyasini imitatsion modeli

Elektr tarmogʻida kuchlanishni rostlashning oʻlchov ma'lumotlari

8.1–jadval

Kuchlanishni rostlash usuli	Transformatorni YuK chulgʻamining shaxobchalari	U ₁₀	U ₂₀	K _t	U_1	I ₁	φ1	$ \Delta U $	U_2	I ₂	φ ₂	U _{yukl}	ΔU_c	U _{2K}
	%	V	V	_	V	Α	gra	V	V	Α	grad	V	V	V
	+10													
	+5													
	0													
	-5													
	-10													
Koʻndalang kompensatsiya	0													
Boʻylama kompensatsiya	0													

8.2. Ishni bajarish tartibi

1. *MatLab* dasturini ishga tushiring va Simulink kutubxonasini oching.

2. *File/New/Model* buyruqlar yordami bilan yangi fayl yarating.

3. Uch fazali elektr tarmogʻini modellashtirish uchun *Simulink* boʻlimlarini oching va *Simulink* dan kerakli elementlarni modellashtirish uchun yaratilgan oynaga qoʻshing.

4. Oʻqituvchi tomonidan oʻzingizni variantingizga mos ravishda individual ma'lumot oling va modellashtirish uchun ishga tushing.

5. Modellashtirish natijasi oʻlchangan parametrlarni yozing va 8.1– jadvalni toʻldiring.

6. 8.1–jadvalning ma'lumotlari asosida ko'ndalang va bo'ylama kompensatsiya sxemalari uchun tizimning P = f(U), Q = f(U) statik xarakteristikalarini quring.

7. O'lchov ma'lumotlarini tahlil qilish yoʻli bilan elektr tarmogʻida kuchlanishni rostlash usullarini taqqoslang (8.1–jadval).

8. 8.1–jadvalning ma'lumotlari asosida yuklamaning toki va kuchlanishlarining vektor diagrammasini quring. Xulosalar chiqaring.

Sinov savollari

1. Qanday me'yoriy hujjat elektr energiyaning sifat ko'rsatgichlarini qat'iy belgilaydi.

2. YuOR (RPN) nima va u PBV dan qanday farq qiladi.

3. Koʻndalang kompensatsiyani ishlash shartini tushuntiring.

9 – Laboratoriya ishi Statik kondensator batareyalarining simmetriyalovchi va kompensatsiyalovchi ishini tadqiq qilish

Ishdan maqsad: kondensatorlarni ulanish sxemasi, statik kodensator batareyalarining toʻgʻri va teskari ketma–ketlik tokiga ta'sirini Matlab/Simulink dasturining imitatsion modeli asosida tadqiq qilish.

9.1. Qisqacha nazariy ma'lumot

Statik kondensator batareyalari 6 – 220 kV kuchlanishli tarmoqlarda kuchlanishni oshirish uchun (3–4 % gacha) moʻljallangan. Bundan tashqari, statik kondensator batareyalari energiya oqimini toʻgʻrilash va yuklamalarning reaktiv quvvatini oʻzgartirish vositasi orqali energotizimda kuchlanishni rostlash mumkin.

Elektr uzatish liniyasining fazalaridagi toklar va ushbu toklarning fazalararo kuchlanishga nisbatan burilish burchagini tadqiq qilish sxemasi 9.1–rasmda keltirilgan.



9.1–rasm. Elektr uzatish liniyasining fazalaridagi toklar va ushbu toklarning fazalararo kuchlanishga nisbatan burilish burchagini tadqiq qilish sxemasi

Elektr uzatish liniyasining fazalaridagi toklarni tadqiq qilishning Matlab/Simulink dasturi orqali bajarilgan imitatsion modeli 9.2–rasmda keltirilgan.



9.2–rasm. Elektr uzatish liniyasining fazalaridagi toklarni oʻlchash uchun Simulink dasturida bajarilgan imitatsion modelning sxemasi

Model (9.2–rasm) uch fazali ta'minlash manbaning bloki, uch fazali liniyaning "P" koʻrinishli almashtirish sxemasining bloki, kondensator batareyasining elementlar bloki va uch fazali RLC yuklamalar bloki, shuningdek oʻlchov asboblaridan iborat.

9.2. Ishni bajarish tartibi

1. *MatLab* dasturini ishga tushiring va Simulink kutubxonasini oching.

2. File/New/Model buyruqlar yordami bilan yangi fayl yarating.

3. Uch fazali elektr tarmogʻini modellashtirish uchun *Simulink* boʻlimlarini oching va *Simulink* dan kerakli elementlarni modellashtirish uchun yaratilgan oynaga qoʻshing.

4. Oʻzingizning variantingizga muvofiq holda oʻqituvchidan individual tarzda ma'lumot oling va modellashtirishga kirishing.

5. Modellashtirish natijalari boʻyicha kondensator batareyalari turlicha ulangan sxemalar uchun oʻlchangan parametrlarni qayd qilib boring. 9.1, 9.2 va 9.5–jadvallarni toʻldiring.

6. (9.1)–(9.3) da kelitirilgan formulalar asosida har bir fazalar uchun nosimmetriya koeffitsientini aniqlang (9.1 va 9.2–rasm).

7. 9.3–jadvalning ma'lumotlari asosida Sigʻimlarni qiymatini hisoblang va 9.4–jadvalni toʻldiring.

8. Hisoblash natijalari asosida statik kondensator batareyalarining koʻrib chiqilgan barcha sxemalari uchun kuchlanish va toklarning diagrammalari vektorlarini masshtablarda quring.

9.1-jadval

				<u> </u>				
	Oʻlahov			SK	B sxema	ısi		
Koʻrsatkich	birligi	Uch	Uch Ikki fazasi					i
	Uningi	fazali	ab-bc	bc–ca	ca–ab	ab	bc	ca
1	2	3	4	5	6	7	8	9
IA								
IB								
IC								
φΑΒ								

Statik kondensator batareyalarining sxemasini tadqiq qilish

61

φBC				
φCA				
φΑ				
φΒ				
φC				

Toklarning nosimmetriya vektorining moduli quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$\alpha_I = \frac{I_{A2}}{I_{A1}} \tag{9.1}$$

Simmetrik tashkil etuvchilar metodining asosiy formulasidan foydalangan holda toklarning toʻgʻri va teskari ketma–ketlik toklarni tashkil etuvchilarini aniqlaymiz:

toʻgʻri ketma-ketlik

$$\dot{I}_{1} = \frac{1}{3} \left(\dot{I}_{A} + a \cdot \dot{I}_{B} + a^{2} \cdot \dot{I}_{C} \right)$$
(9.2)

teskari ketma-ketlik

$$\dot{I}_{2} = \frac{1}{3} \left(\dot{I}_{A} + a^{2} \cdot \dot{I}_{B} + a \cdot \dot{I}_{C} \right)$$
(9.3)

bu erda, \dot{I}_A , \dot{I}_B , \dot{I}_C – tarmoqni faza toklari, $a = e^{j2\pi/3} = \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$,

$$a^{2} = e^{j2\pi/3} \cdot e^{j2\pi/3} = \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

9.2-jadval

Yuklama tokining reaktiv tashkil etuvchisini kompensatsiya qilish samaradorligini tadqiq qilish

	Oʻlahav	Uch fazali		SK	KB sxe	emasi			
Koʻrsatkich	birligi	simmetrik	Uch fazali	Ik	ki faza	asi	B	ir faza	ali
	Uningi	yuklama	simmetrik	ab–bc	bc–ca	ca–ab	ab	bc	ca
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA									
IB									
IC									
φAB									
φBC									
φCA									
φΑ									
φB									
φC									

9.3–jadval

Statik kondensator batareyalarining faza sigʻimlarini simmetriyalash uchun formulalar

	β qiymatning	SKB faza sigʻimi, mkF					
	chegarasi	C _{AB}	C _{BC}	C _{CA}			
Ι	$-900 < \beta < 300$						
II	$300 < \beta < 1500$						
III	$1500 < \beta < 2700$						

9.4-jadval

SKB faza sigʻimlarini simmetriyalash natijalarini aniqlash

Parametr	SKB faza sigʻimlarini simmetriyalash, mkF								
xarakteristikasi	Uch fazali yuklama			Ikki fazali yuklama			Bir fazali yuklama		
	C _{AB}	C _{BC}	C _{CA}	C _{AB}	C _{BC}	C _{CA}	C _{AB}	C _{BC}	C _{CA}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

9.5-jadval

Statik kondensator batareyalarining simmetriyalash samaradorligini tadqiq qilish

Koʻrsatkich	Oʻlchov birligi	Nosimmetrik yuklama va simmetriyalovchi SKB									
		boʻlgandagi sxema									
		Uch fazali			Ikki fazali			Bir fazali			
		SKB	SVD	SKB	SKB	SKB	SKB	SKB	SKB	SKB	
		siz	SVD	bilan	siz		bilan	siz		bilan	

Sinov savollari

1. SKB da bajarilgan koʻndalang va boʻylama kompensatsiyani asosiy farqini ayting?

2. Yuklama turlicha koʻrinishda boʻlganda SKB kompensatsiyasida farq boʻladimi?

3. SKB ning simmetriyalovchi ishi nimadan iborat?

4. SKB ning kompensatsiyalovchi ishi nimadan iborat?

Foydalanilgan adabiyotlar roʻyxati

1. Моделирование питающих и распределительных сетей: метод. пособие по выполнению виртуальных лабораторнопрактических работ / Ю.А. Константинова, А.М. Константинов. – Хабаровск: ДВГУПС, 2014. – 46 с.

2. Караев, Р.И. Электрические сети и энергосистемы: учебник /Р.И. Караев, С.Д. Волобринский, И.Н. Ковалев. – 3–е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1998. – 326 с.

3. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в МАТLAB: учебный курс. – СПб.: Питер; Киев: BHV, 2005. – 512 с.

4. Силовое оборудование тяговых подстанций железных дорог: сб. справочных материалов /ОАО «РЖД», филиал «Проектно-конструкторское бюро по электрификации железных дорог». – М.: Трансиздат, 2004. –384 с.

5. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. М., 2005. – 320 с.

6. Герман–Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК.–СПб.:Корона принт, 2003, –256 с.

7. Волощенко Ю.П. Моделирование электротехнических устройств, цепей и элементов в Simulink MatLab. – Таганрог 2008 – 102 с.

Mundarija

Kirish	. 3
1 – laboratoriya ishi. Salt tartibda ishlayotgan ta'minlovchi elektr	
uzatish liniyasini modellashtirish	. 10
2 – laboratoriya ishi. Yuklama ostida ishlayotgan ta'minlovchi	
elektr uzatish liniyasini modellashtirish	. 17
3 – laboratoriya ishi. Bir fazali transformatorni	
modellashtirish	22
4 - laboratoriya ishi. Uch fazali transformatorni tadqiq qilish	.29
5 – laboratoriya ishi. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarini tadqiq	
qilish	. 35
$\overline{6}$ – laboratoriya ishi. Elektr tarmoqni ish rejimini tadqiq qilish	44
7 – laboratoriya ishi. Taqsimlovchi tarmoqda kuchlanish	
ogʻishini tadqiq qilish	49
8 – laboratoriya ishi. EUL da kuchlanishni rostlash usullarini	
tadqiq qilish.	. 55
9 – laboratoriya ishi. Statik kondensator batareyalarining	
simmetriyalovchi va kompensatsiyalovchi ishini tadqiq qilish	. 59
Foydalanilgan adabiyotlar roʻyxati	.65
Mundarija	.66
-	

Muharrir: Sidikova K.A. Musahhih: Adilxodjayeva Sh.