

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI

ABU RAYHON BERUNIY nomidagi
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI

**fanidan laboratoriya ishlarini bajarish uchun
uslubiy ko‘rsatmalar**

Toshkent 2016

«Elektr tarmoqlari va tizimlari» fanidan virtual laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy ko'rsatmalar. Rasulov A.N., To'ychiyev F.N., Mamarasulova T.S.–Toshkent: ToshDTU 2016 – 66 b.

«Elektr tarmoqlari va tizimlari» fanidan virtual laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy ko'rsatma 5310200 – «Elektr energetikasi» yo'nalishining o'quv 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 tarmog'ini modellashtirishning asosiy prinsiplari ko'rib chiqilgan. Murakkab tuzilishga ega bo'lgan taqsimlovchi tarmoqlarda kuchlanish og'ishini ruxsat etilgan oraliqlarini aniqlash bo'yicha tavsiyalar berilgan.

«Elektr tarmoqlari va tizimlari» fanini o'rganayotgan talabalar uchun mo'ljallangan.

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 qo'shimchasidan biri hisoblanib, elektronika qurilmalarini modellashtirish uchun yo'naltirilgan hisoblanadi. Kutubxona tarkibiga aktiv va passiv elektrotexnik elementlar, energiya manbalari, elektr motorlar, transformatorlar, elektr uzatish liniyalari va h.k. lar kiradi. Bundan tashqari yarimo'tkazgichli qurilmalarni modellashtirish bo'limi mavjud. *Sim Power Systems* ning maxsus imkoniyatlarini ishlatgan holda foydalanuvchi qurilmalar ishini faqatgina vaqt bo'yicha emas, balki ushbu qurilmalarning turli ko'rinishdagi 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 o'rnatish kerak bo'ladi.

Sim Power Systems paketining modellari bir necha afzalliklarga ega.

1. *Simulink* dan farqli ravishda bloklarning kirish va chiqishlari yo'naltirilmagan.

2. Bloklarni bir-biriga bog'lovchi liniya elektr o'tkazgichning modeli hisoblanadi, u orqali tok ikkala yo'nalishda ham oqib o'tishi mumkin.

3. *Simulink* ning bloki va *Sim Power Systems* ning bloki signallarni tabiati turli xil bo'lganligi uchun ularni bir-biriga to'g'ridan to'g'ri ulash mumkin emas. Signal *Simulink* blokdan *Sim Power Systems* blokiga boshqariluvchi tok va kuchlanish manbasi orqali, teskari ravishda esa tok va kuchlanish o'lhagichlari yordami bilan uzatish mumkin.

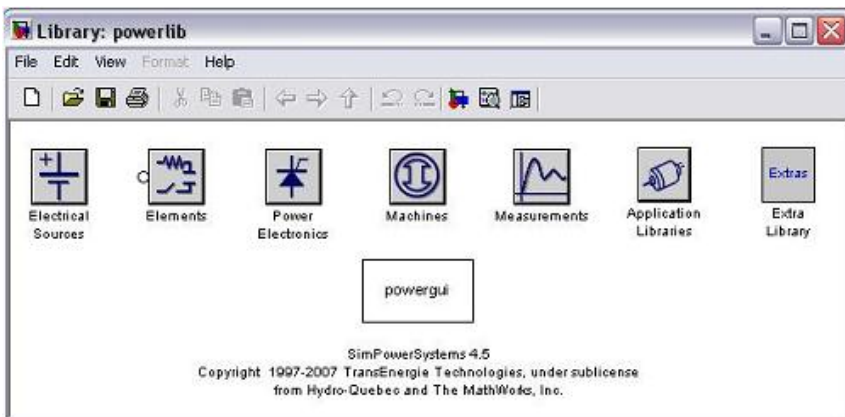
4. Bir necha o'tkazgich liniyalarni bir-biriga ulash mumkin. Ushbu ulashlarni amalga oshirish uchun *Sim Power Systems* da maxsus bloklar talab etilmaydi.

1.2. *Sim Power Systems* paketi kutubxonasi

Sim Power Systems kutubxonasi ettita asosiy bo‘limlardan 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* – qo‘shimcha kutubxonalar.

Foydalanuvchi ushbu bo‘limlarning bloklaridan foydalangan holda qisqa vaqt ichida murakkab elektrotexnik tizimlarni to‘la qimmatli modelini yaratish mumkin. Asosiy kutubxonada Powergui blogi joylashgan bo‘lib, elektr sxemalarni tahlil qilishda ishlatiladi.



1 – rasm. *Sim Power Systems* kutubxonasi

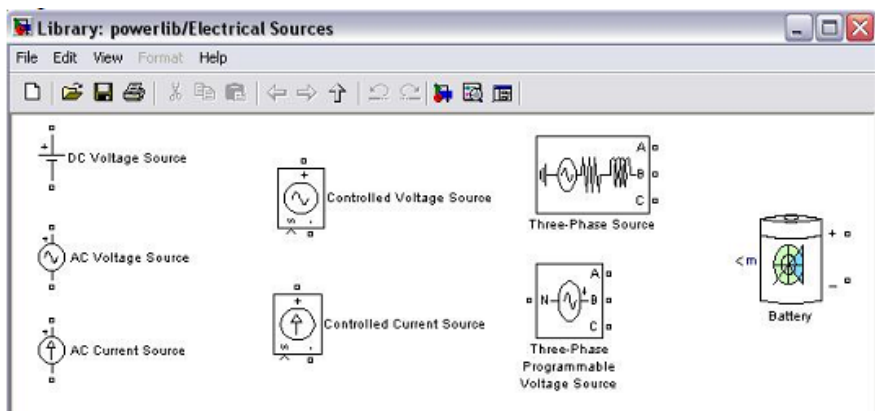
Ushbu blok quyidagi masalalarni bajarishni ta'minlaydi:

- sxemani kompleks usulda hisoblash;
- o‘rnatilgan rejim hisobi;
- modelni diskretizatsiya;
- elektr mashinalardan iborat bo‘lgan uch fazali sxemani initsializatsiyalash, bunda hisob o‘rnatilgan rejimdan boshlansin.

- sxemani *Use LTI Viewer* instrumenti yordami bilan chastotali tahlili;
 - zanjirni to‘la 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 o‘zgaras va o‘zgaruvchan kuchlanish va tok manbalaridan tashkil topgan (2–rasm). Sozlash parametri oynasi maydonida har bir blok uchun kuchlanish amplitudasi, boshlang‘ich fazasi va chastotasining qiymati o‘rnatiladi.



2–rasm. *Electrical Sources* kutubxonasi

«Measurements» maydoni *Multimeter* blokini ulab manbaning chiqish parametrlarini o‘lchash va kuzatish imkonini beradi. Boshqariluvchi manbalarning bloklari «*Simulink Block Library*» asosiy kutubxonaning struktura va funksional sxemalarini *Sim Power System* kutubxonaning elementlari bilan bog‘lash 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 induktiv yoki reaktiv sig‘im quvvatli («*RLC Load*») qiymatlarda berilgan bo‘lishi mumkin.

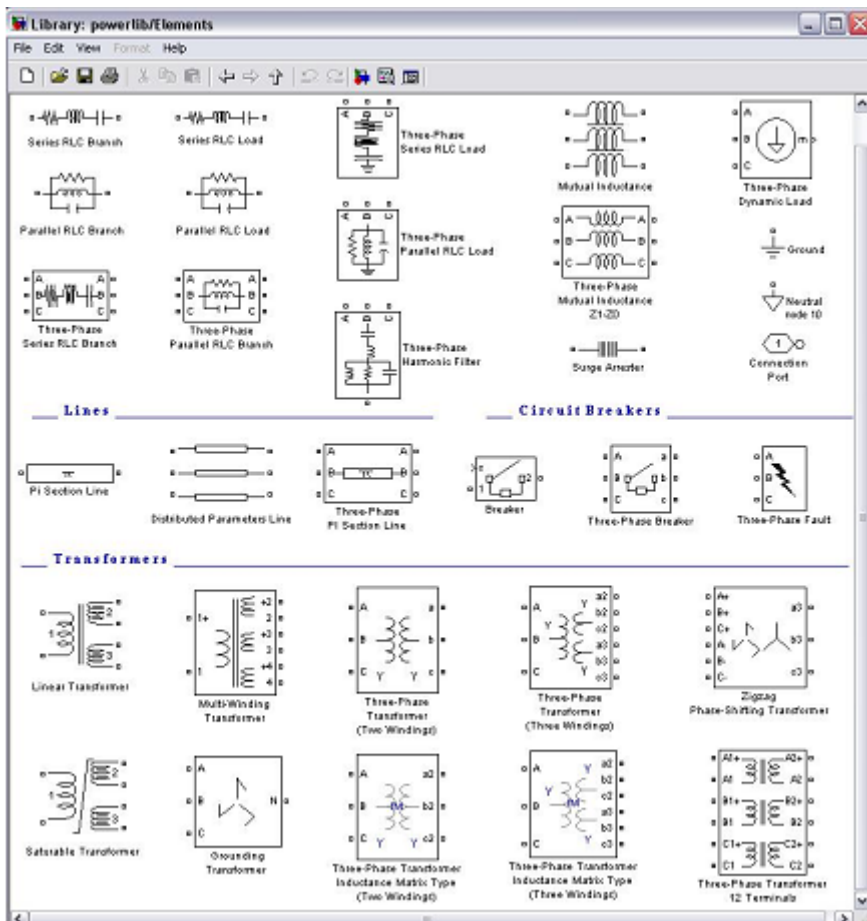
2. Bir fazali va uch fazali magnit bog‘langan zanjir (o‘zaro induksiyali zanjir) (*Mutual Inductance*, *Three–phase Mutual Inductance*).

3. Liniyalı bir fazali va uch fazali transformatorlar (*Linear Transformer*, *Three–Phase Transformer*) va magnitlanishni hiobga oluvchi haqiqiy magnit o‘zakli transformator (*Saturable Transformer*).

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

5. Uch fazali ikki chulg‘amli va uch chulg‘amli 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*).



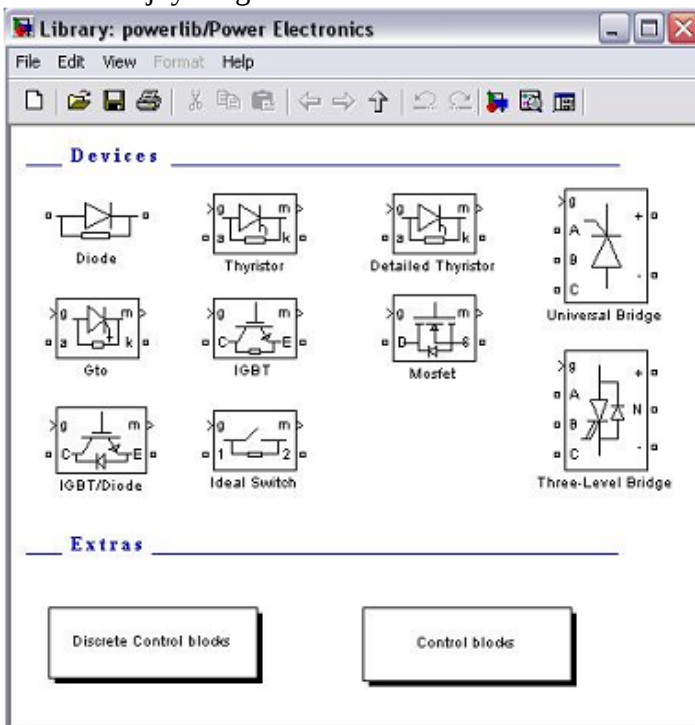
3 – rasm. *Elements* kutubxonasi

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 inverter sxemasini modellash imkonini beruvchi universal koʻprik joylashgan. Bundan tashqari kutubxonada uch darajali koʻprik modeli va ideal kalit modeli mavjud.

Har bir yarimoʻtkazgichli element m kirishga ega boʻlib, oʻlchov asboblari yordami bilan elementdagi kuchlanish va tokning formasini koʻrish va uning qiymatini oʻlchash mumkin. Har bir blok g harfi bilan belgilangan boshqaruv kirishiga ega.

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



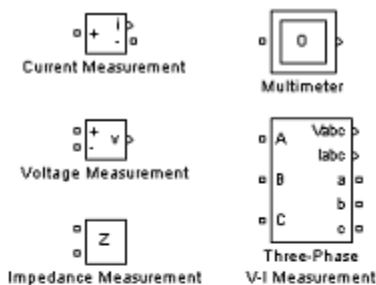
4 – ras. *Power Electronics* kutubxonasi

1.2.4. *Measurements* – oʻlchov va nazorat qurilmalari

Oʻlchov qurilmalarning kutubxonasi 5 – rasmda koʻrsatilgan.

Oʻlchov qurilmalarining kutubxonasida tok va kuchlanishning aniq 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. Maʼlum

bir blokning parametrlar oynasidagi *Measurement* xonasiga oʻlchanadigan kattalik belgilangandan soʻng, *Multimeter* bloki ushbu kattalikni akkumulyasiya qiladi. Oʻlchov blokining chiqish signali *Simulink* ning oddiy signali hisoblanib, ulardan aks ettirish blokiga (*Scope*, *Display*) yoki xohlagan oddiy *Simulink* blokining kirishiga berilishi mumkin.



Extras



5 – rasm. Oʻlchov asboblarning kutubxonasi

1–laboratoriya ishi

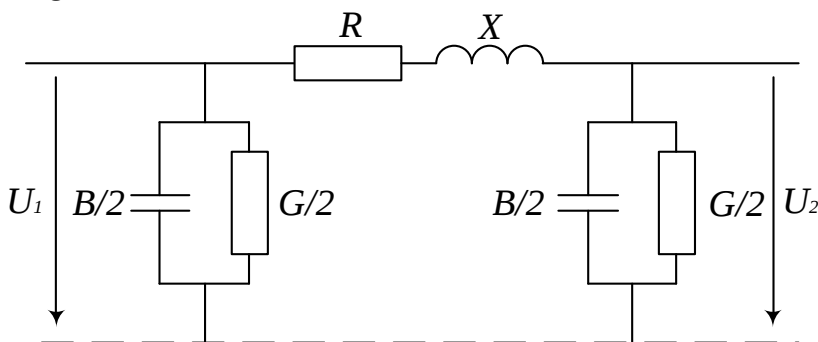
Salt tartibda ishlayotgan ta'minlovchi elektr uzatish liniyasini modellashtirish

Ishdan maqsad: *MathLab/Simulink* dasturining interfeysini o'rganish, elementlarni boshqarish va tuzatishlar kiritishda boshlang'ich bilimga ega bo'lish, 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 o'zi ichiga olib, bir turli liniyada uning sig'imi va aktiv o'tkazgichlari, qarshiligi uzunlik bo'yicha bir xil taqsimlangan hisoblanadi.

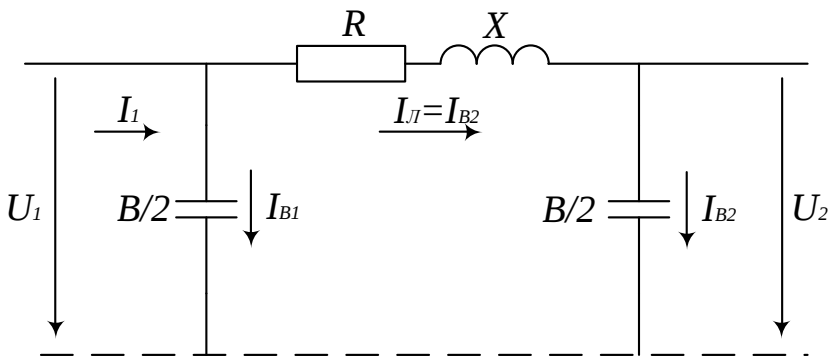
Parametrlari uzunlik davomida taqsimlangan elementli sxemani analitik hisoblash murakkab hisoblashlarni keltirib chiqaradi. 110 kV va undan yuqori kuchlanishli EUL ish tartibini tadqiq qilishda ularni uzunligi davomida taqsimlangan sig'imini ham hisobga olish kerak, bunda liniyaning uzunligi, elektr ta'minoti tizimining jarayonlariga katta ta'sir o'tkazishi mumkin. Shuning uchun 110 kV va undan yuqori kuchlanishli EUL ni hisoblashda, qarshilik va o'tkazuvchanligi yig'ilgan parametrli sodda sxemasi qo'llaniladi. EUL ning "P" ko'rinishli almashtirish sxemasining umumiy ko'rinishi 1.1–rasmda keltirilgan.



1.1–rasm. Yuqori kuchlanishli ta'minlovchi EUL ni almashtirish sxemasi

Almashtirish sxemasidan ko‘rinib turibdiki (1.1–rasm), liniyaning to‘la sig‘im B va aktiv G o‘tkazuvchanliklari sxemaning boshi va oxirida, aktiv R va reaktiv X qarshiliklar almashtirish sxemasining o‘rtasida joylashgan.

Tojlanishga, shu bilan birga kam darajada izolyasiyada sarf bo‘ladigan aktiv quvvat isrofi aktiv o‘tkazuvchanlik 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 ko‘rsatilgan ko‘rinishda bo‘ladi.



1.2–rasm. Ta‘minlovchi EUL salt ishlayotganda aktiv o‘tkazuvchanlikni hisobga olmagandagi almashtirish sxemasi

Ma‘lumotnomalarda [6] o‘tkazgichlarning qarshiligi va o‘tkazuvchanligining o‘lchov (yoki solishtirma) qiymati ko‘rsatiladi. To‘la qiymat, solishtirma qiymatni elektr uzatish liniyasining uzunligiga ko‘paytirilib topiladi.

Sxemadan (1.2–rasm) kelib chiqadiki, tarmoqda sig‘imni mavjudligi, yuklama bo‘lmaganda ham reaktiv toklarni oqishiga olib keladi. Liniyani salt ishlashida EUL sxemasining barcha elementlardagi kuchlanish va oqayotgan toklarni o‘rganish katta qiziqish o‘yg‘otadi.

Salt ishlash tartibida reaktiv sig‘im tok I_{B2} liniyaning aktiv qarshiligi R orqali o‘tib $I_{B2} \cdot R$ kuchlanish pasayishini keltirib chiqaradi,

Phasor diagram illustrating the relationship between the sending end voltage U_1 , the receiving end voltage U_2 , and the currents I_1 and I_2 . The diagram shows the voltage drop across the line impedance $Z = R + jX$. The receiving end voltage U_2 is the phasor sum of the sending end voltage U_1 and the voltage drop across the impedance. The voltage drop is composed of a resistive drop $I_2 R$ in phase with I_2 , and a reactive drop $j I_2 X$ leading I_2 by 90° . The total voltage drop is $I_2 Z$. The diagram also shows the phase angle δ between U_1 and U_2 , and the angle ϕ between U_2 and I_2 .

Agar liniyaning uzunligi 100–500 km bo'lsa, kuchlanishning oshishi 0,5–10 % ni tashkil etishi mumkin. Kuchlanish o'rnatilgan darajadan oshsa, elektr uskunalarning ishiga salbiy ta'sir ko'rsatadi, 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 turg'unligini pasaytirishi mumkin.

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 qo'llaniladi:

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* bo'limida joylashgan. Elementlar *resistance* (to'la qarshilik), *inductance* (to'la induktivlik), *capacitance* (to'la sig'im) 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 o'lchagich. Element *SimPowerSystems* kutubxonasining *Measurements* bo'limida joylashgan.

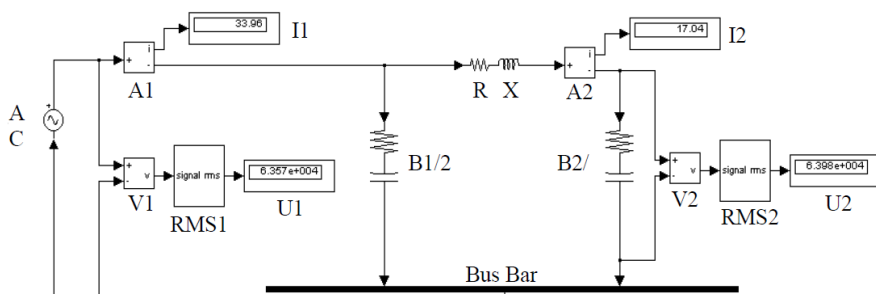
5. **RMS** – signalning oniy qiymatini haqiqiy (ta'sir etuvchi) qiymatga o'zgartgich. U *SimPowerSystems* kutubxonasining *Measurements* bo'limining *Extra Library* bo'limida joylashgan. Sozlanadigan parametr *frequency* (chastota) hisoblanadi.

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

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

EUL bo'ylama qarshiligi *Series RLC Branch* element yordami bilan modellashtiriladi, bunda *capacitance* parametr *inf* ga teng. Ko'ndalang

sigʻim oʻtkazuvchanlik RLC kontur bilan koʻrsatilgan, unda inductance parametr nolga teng. SHuni taʼkidlash 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 taʼminoti tizimi modellashtirish uchun *Simulink* da kerakli toʻplamlarni oching (*SimPowerSystems*), salt ishlayotgan EUL ni modellashtirish uchun *Simulink* oynasidagi kerakli elementlarni yangi ochilgan model oynasiga joylashtiring. (1.2 – boʻlimga 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 params* menyusidagi *Solver* ilovasiga kiriting.

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

1.1–jadval

EUL ishini modellashirishning birlamchi ma'lumotlari

Parametr	Variant									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ta'minlash manbasining kuchlanishi U_b , 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 , Ω/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 , Ω/km	0,4	0,34	0,434	0,29	0,34	0,434	0,44	0,34	0,29	0,434
Solishtirma o'tkazuvchanlik $b_0 \cdot 10^{-6}$, 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

7) Modellashirishni bajarilishi tugallangandan so'ng o'lchov asboblarning (ampermetrlar va voltmtrlar) ko'rsatgichlarini qayd eting.

8) Model faylini o'zingizning shaxsiy ismingiz bilan saqlang.

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

1.2–jadval

Salt ishlayotgan EUL ishini tadqiq qilish natijalari

EUL ish tartibi	Tadqiq qilinadigan kattaliklarni haqiqiy qiymati				
	I_{B1} , A	I_{B2} , A	I_1 , A	U_1 , kV	U_2 , kV
Salt yurish					

Sinov savollari

1. Yuqori kuchlanishli salt ishlash tartibidagi EUL da tokning oqishini sababi nima?
2. Salt ishlash tartibida liniyaning oxirida kuchlanish qanday hosil bo‘ladi va EUL oxiridagi kuchlanish qiymatining farqi sababi nimada?
3. Yuqori kuchlanishli salt tartibida ishlayotgan EUL ni ajratgich bilan o‘chirish mumkin emasligi nimada?
4. EUL oxiridagi kuchlanish qiymatlarining farqi nimaga olib keladi?

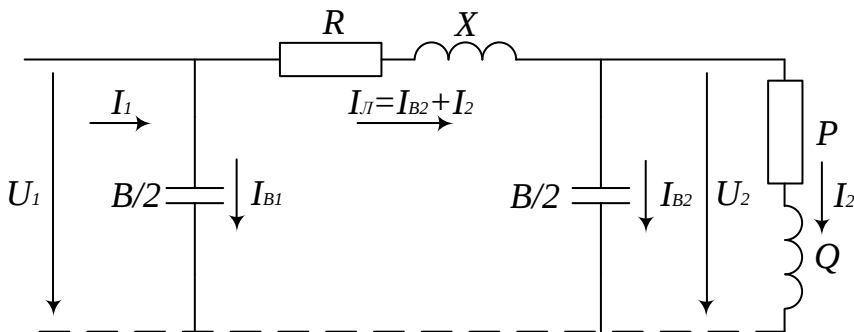
2–Laboratoriya ishi

Yuklama ostida ishlayotgan ta'minlovchi elektr uzatish liniyasini modellashtirish

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

2.1. Qisqacha nazariy ma'lumot

Yuklamaga ulangan elektr uzatish liniyasining almashtirish shemasini ko'rib o'tamiz (2.1 – rasm).



2.1 – rasm. Yuklamaga ulangan EUL almashtirish sxemasi

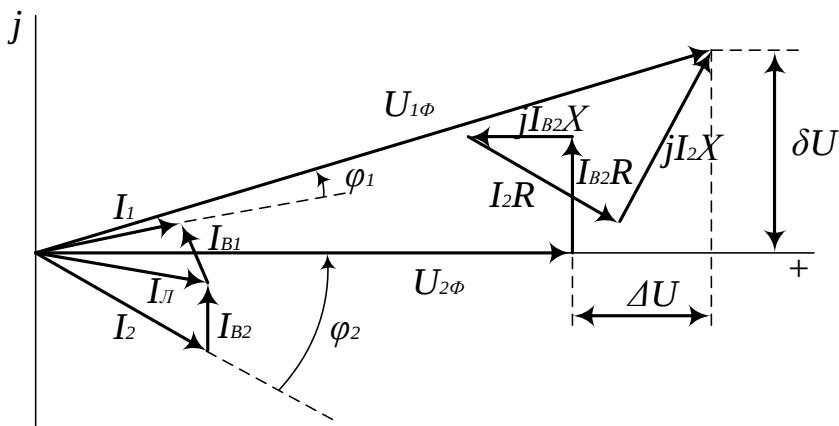
Elektr tizimining induktiv elementidan o'tayotgan tok, ta'minlovchi kuchlanishning fazasidan 90 el. grad. orqada qoladi.

Elektr tarmog'iga ulangan elektr iste'molchilarning katta qismi aktiv va induktiv yuklamani o'z ichiga oladi.

Kuchlanish va tok orasidagi burilish burchagi iste'mol qilinayotgan aktiv R reaktiv Q quvvatlarning nisbatidan aniqlanadi, bunda kuchlanish va tok orasidagi o'rtacha statik burilish burchak 30 el. grad. qiymatga teng deb hisoblanadi. Lekin katta sig'imni 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 koefitsientini hisobga olish kerak. Almashtirish sxemasi (2.1 – rasm) va vektor diagrammadan (2.2 – rasm) kelib chiqadiki, EUL bo‘ylama oqadigan I_1 liniya toki yuklama tokining aktiv va induktiv tashkil etuvchilari va liniya sig‘im tokining yig‘indisiga teng. Ushbu toklar EUL ning X va R qarshiliklaridan oqib o‘tib, to‘la kuchlanish yo‘qotilishining mos ravishda tashkil etuvchilarini keltirib chiqaradi.

Yuklama va liniyaning sig‘im toklarining nisbati barcha tizimning kuchlanishi va quvvat tartiblariga bog‘liq bo‘ladi.



2.2 – rasm. Yuklamaga ulangan EUL bir fazasining vektor diagrammasi

Yuklamali tartibda liniyada sig‘imni mavjudligi quyidagilarga olib keladi:

1. I_{B2} sig‘im toki X induktiv qarshilikdan oqib o‘tgandagi kuchlanishni yo‘qotilishi umumiy kuchlanishni pasayishiga olib keladi.

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

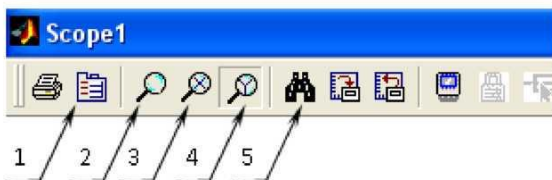
Ushbu savollarga mustaqil nazariy tayyorgarlik taklif etilgan adabiyotlarda keltirib o‘tilgan [2–5].

2.2. Yuklama ostidagi EUL ni modellashtirish

Simulink da yig'ilgan va aktiv – induktiv yuklamaga ulangan elektr uzatish liniyasining modeli salt yurishda ishlatayotgan model asosida hosil bo'ladi. Bunda quyidagi qo'shimcha elementlar kerak bo'ladi:

1. **Series RLC Load** – RLC elementlari ketma – ket ulangan yuklama. Element *SimPowerSystems* kutubxonasining *Elements* bo'limida 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* (sig'im reaktiv quvvat).

2. **Scope** – virtual ossillograf. U o'lchanadigan kattalikning oniy qiymatini o'zida aks ettiradi va *Simulink* (*Sinks* bo'limi) kutubxonasida joylashgan. Sichqonchani chap tugmasini *Scope* belgisiga bosganda ekran paydo bo'ladi, unda modellashtirish jarayonini oniy qiymati vaqt diagrammasi ko'rinishida aks ettiriladi. Ossillograf menyusining umumiy ko'rinishi 2.3–rasmda keltirilgan, u orqali kerakli sozlanmalarni amalga oshirish mumkin.

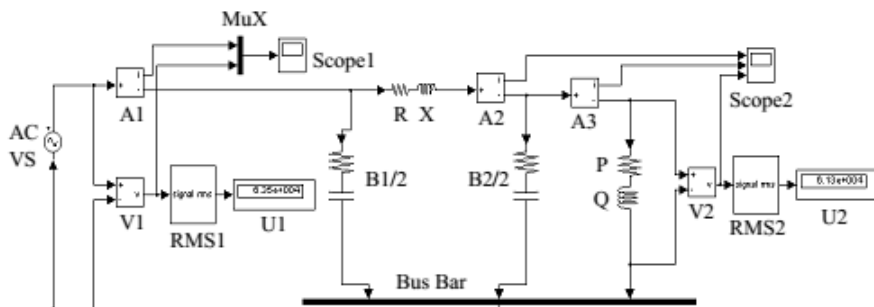


2.3–rasm. Virtual ossillograf menyusining umumiy ko'rinishi

Uning asosiy sozlanmalari 1–paremetrlar (*Parameters*) tugmani bosish bilan *Number of axes* (o'qlar soni) va *Time range* (vaqt intervali) namoyon bo'ladi. Birinchi parametr ossillografga nechta alohida kirish mavjudligini, ikkinchisi esa ekranda aks ettiriladigan intervalni sekund bo'yicha vaqtini rostlaydi. 2–tugma (*Zoom*) aks ettirish masshtabini o'zgartirish imkonini beradi. 3– (*Zoom X-axis*) yoki 4–tugmani (*Zoom Y-axis*) bosish esa *X* yoki *Y* o'q bo'yicha masshtabini o'zgartirish mumkin. 5–tugma (*Autoscale*) diagrammaning masshtabi avtomatik beriladi.

3. **Mux** – ikki skalyar signalni bir vektorga birlashtirish imkonini beruvchi element, u *Simulink* kutubxonasining *Signal Routing* bo‘limida joylashgan. Kirishlar sonini o‘zgartirish imkoni mavjud. (*Number of inputs*).

Barcha kerakli bo‘lgan 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. Matlab 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 bo‘lmagan elementlarni o‘zgartirish va yangilarni kiriting (2.2–bo‘lim va 2.4–rasmga qarang).

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

5. Hisoblovchi parametrlarning berilishini to‘g‘riligi tekshirilgandan so‘ng modelni hisoblashni ishga tushuring.

6. Modellashtirish bajarilishi tugallangandan so‘ng o‘lchov asboblarning parametrlarini qayd eting.

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

ishlayotgan liniya uchun toklar va kuchlanishlar vektor diagrammasini ko'ring.

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

9. Sig'im o'tkazuvchanlikni EUL kuchlanish tartibiga ta'siri haqida xulosa chiqaring, sinov savollariga javob bering va bajarilgan laboratoriya ishining hisobotini rasmiylashtiring.

2.1–jadval

Yuklama bilan ishlayotgan EUL tadqiq qilish natijalari

EUL ish tartibi	O'lchanadigan kattaliklarning haqiqiy qiymati						
	I_1, A	I_2, A	I_l, A	U_1, kV	U_2, kV	φ_1 el. grad	φ_2 , el. grad
Yuklama							

Sinov savollari

1. Yuklamali ish tartibidagi liniyaning oxiridagi kuchlanish qanday hosil bo'lishini tushuntiring?

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

3. Yuklama ostidagi EUL ish tartibida taqsimlangan sig'im 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.

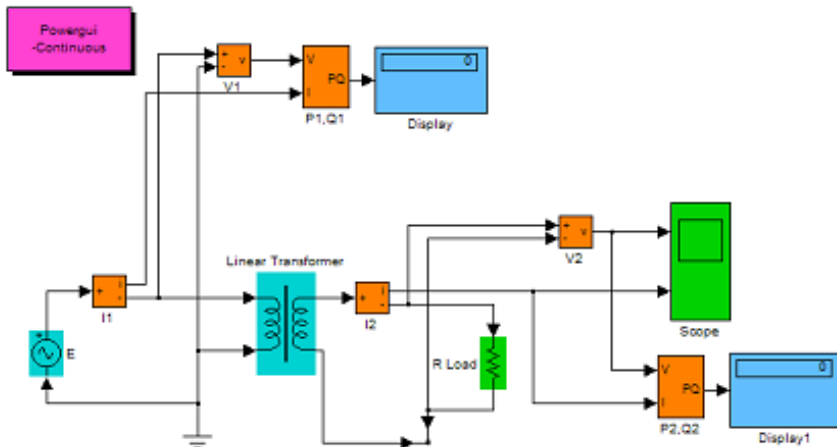
Topshiriq:

1. Salt ishlash va qisqa tutashuv tajribasi yordami bilan almashtirish sxemasining parametrlarini aniqlash.
2. Transformatorning yuklamali va ishchi xarakteristikalarini olish.

Topshiriqni bajarishga oid ko‘rsatma

Bir fazali transformatorni tadqiq qilish modeli 3.1–rasmida ko‘rsatilgan. Model quyidagilardan tashkil topgan:

- E_1 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 o‘lchagichlar va I_1 , I_2 tok o‘lchagichlari *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 o'lhagichlari *Power System Blockset/Extras/Measurement* kutubxonasida;

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

- *Display1, Display2* bloklari, o'lchangan quvvatlarni miqdoriy tasvirlash va *Scope* bloki esa, ikkilamchi zanjirdagi tok va kuchlanishni egri chizig'ini kuzatish uchun lozim bo'lib, *Simulink/Sinks* bosh kutubxonaning bloki hisoblanadi.

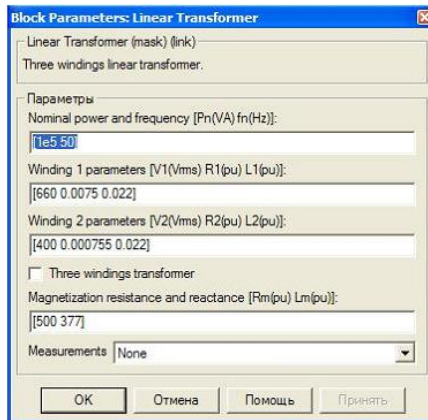
Transformatorning parametrlari 3.1–jadvalda keltirilgan.

3.1–jadval

Transformator turi	S_N , kVA	U_K , %	P_K , Vt	P_{10} , Vt	I_{10} , %
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

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

- transformatorning quvvati va chastotasi;
- birlamchi chulg'amni haqiqiy kuchlanishi va almashtirish sxemasining nisbiy parametrlari;
- ikkilamchi chulg'amni haqiqiy kuchlanishi va almashtirish sxemasining nisbiy parametrlari;
- magnitlanish shaxobchasining nisbiy parametrlari;
- transformator o'zgaruvchan holatini *Multimeter* orqali o'lchanadi;



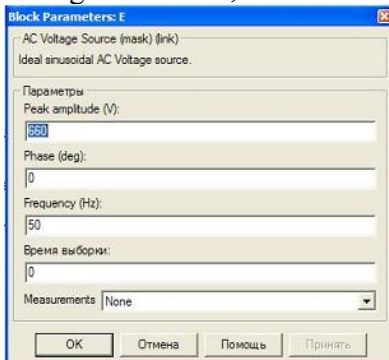
3.2–rasm

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

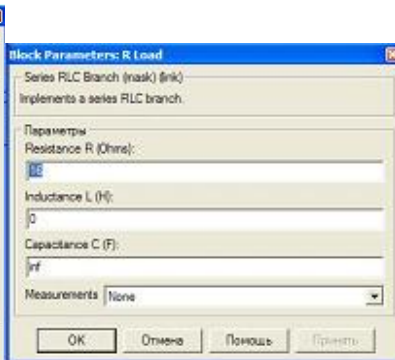
Ta'minlash manbasining parametrlarini sozlash oynasi 3.3–rasmda ko'rsatilgan.

Oynaning maydonlarida quyidagilar beriladi:

- manbaning amplitudasi (V);
- boshlang'ich faza, gradusda;
- chastota (Hz);
- vaqt namunasi (s);
- o'zgaruvchanlar, Multimeter blokidan o'lchanadi.



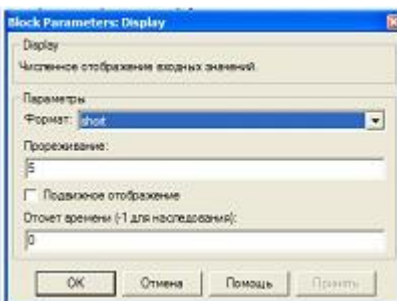
3.3–rasm



3.4–rasm



3.5–rasm



3.6–rasm

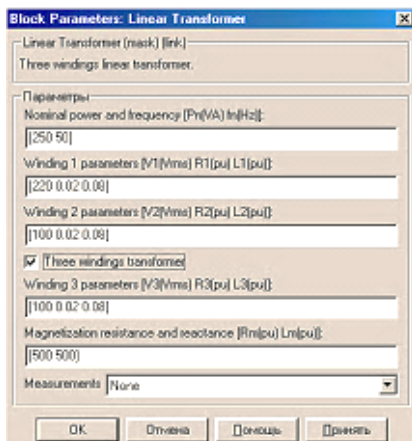
Manbaning kuchlanishi va chastotasi transformatorning parametrlari bilan mos kelishi kerak.

Yuklamaning parametrlarini sozlash oynasi 3.4–rasmda ko‘rsatilgan. Unda yuklamaning R , L , Q parametrlari beriladi. Reaktiv qarshilik bo‘lmaganda induktiv qarshilik nolga teng, sig‘im esa cheksiz (∞) deb berilishi kerak. Quvvat o‘lchagichning parametrlarini sozlash oynasida aktiv va reaktiv quvvatning chastotasi ko‘rsatiladi (3.5–rasm). Displeyni sozlash oynasi 3.6–rasmda ko‘rsatilgan. Sozlash oynasida sonli natijalarni tasvirlash formati ko‘rsatiladi, Decimation da esa hisoblash qadamlarining soni beriladi, u orqali displeyga chiqariladi.

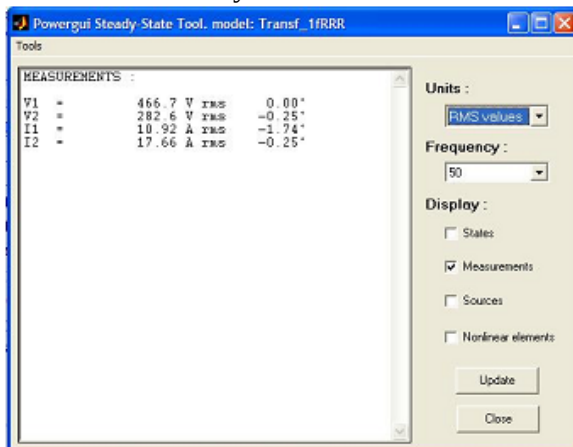
Ishni bajarish uchun kerakli bo‘lgan transformatorning turi o‘qituvchi tomonidan beriladi. Mustaqil ishda esa ushbu ma’lumotlarni 3.2–rasmdan olishlari mumkin. Almashtirish sxemasining parametrlarini aniqlash va ularni sozlash oynasida berilganlar bilan taqqoslash salt ishlash va qisqa tutashish usuli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

Eslatib o‘tamizki, salt ishlash tajribasida aktiv quvvat transformatorning o‘zagidagi isrofga teng.

Transformatorning almashtirish sxemasining parametrlari nisbiy birliklarda keltirilgan.



3.7–rasm. Bir fazali liniya transformatorni sozlash oynasi



3.8–rasm. Powergui blokini o‘lchov natijalar bilan oynasi

Transformator parametrlarining asosiy qiymatlari quyidagilar: hisobiy to‘la S quvvat, P (VA) kabi belgilanadi, nominal chastota (Hz), mos ravishda chulg‘amlarning haqiqiy nominal kuchlanishi (V). Har bir chulg‘am uchun nisbiy qarshilik va induktivlik quyidagi ifodadan aniqlanadi:

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

Transformator parametrlarini nisbiy birlikda berishini qulayligi shundaki, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning nisbiy qarshilik va induktivligini tengligidir.

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

$$R_m = \frac{R_0}{Z_b} = \frac{S}{U_1 I_{10} \cos \varphi_0}, \quad L_m = \frac{x_0}{Z_b} = \frac{S}{U_1 I_{10} \sin \varphi_0}, \quad \varphi_0 = \arccos \frac{P_{10}}{U_1 I_{10}}$$

$$R_1 = R_2' = \frac{R_k}{2Z_b} = \frac{SU_k \cos \varphi_k}{2U_1^2 I_n}, \quad L_{p1} = L_{p2}' = \frac{x_k}{2Z_b} = \frac{SU_k \sin \varphi_k}{2U_1^2 I_n},$$

$$\varphi_k = \arccos \frac{P_k}{U_k I_n}$$

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 ($U_k=29,7 \text{ V}$).

Eslatib o'tamiz, qisqa tutashuv tajribasida qisqa tutashuv birlamchi toki nominalga teng bo'lganda aktiv quvvat transformator chulg'amlaridagi isrofdan aniqlanadi. Tajribalar va parametrlarni hisoblagandan so'ng parametrlar oynasida berilganlar bilan taqqoslash kerak (3.2–rasm).

Transformatorning yuklama va ishchi xarakteristikasini olish modelda yuklama qarshiligini o'zgarishi (0,2÷1,2) R_{nom} da amalga oshiriladi. Bunda yuklama qarshiligini har bir qiymati uchun

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

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

Izlanishlar olib borilishda 3.2–jadval to‘ldiriladi.

3.2–jadval

Yukl.	O‘lchash								Hisoblash		
R _n , Om	R ₁ , Vt	Q ₁ , VAr	U ₁ , V	I ₁ , A	R ₂ , Vt	Q ₂ , VAr	U ₂ , V	I ₂ , A	φ ₁ , grad	cosφ ₁ grad	η

Hisoblash quyidagi ifoda bo‘yicha amalga oshiriladi:

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

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

Topshiriq natijalarini bajarish quyidagilardan tashkil topgan:

- model va virtual 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 guruhlariga boʻlinadi. Guruh raqami birlamchi va ikkilamchi tomondagi bir nomdagi liniya kuchlanishlarining orasidagi 30^0 ga boʻlingan faza siljish burchagidan aniqlanadi.

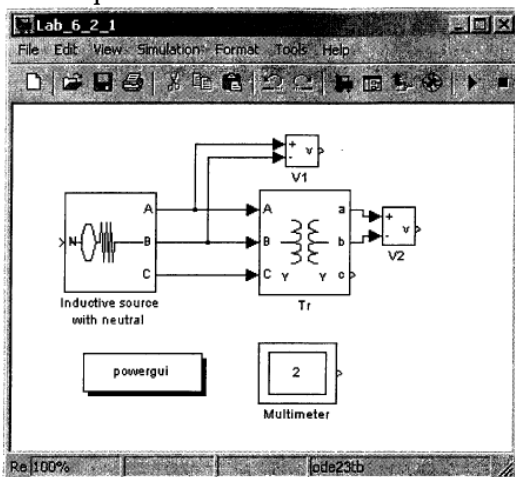
Topshiriq:

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 xarakteristikalarini 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 U_1 va chiqish U_2 kuchlanishlari va ular orasidagi faza farqi olinadi.



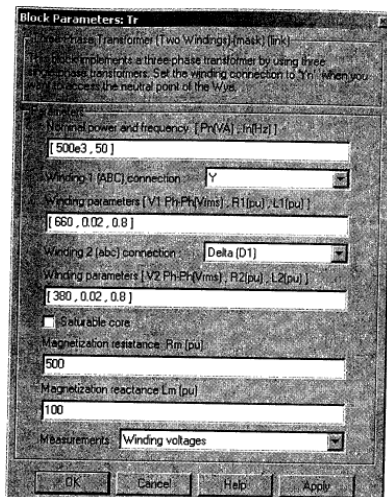
4.1–rasm. Uch fazali transformatorning modeli

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

– *Winding 1 (ABC) connection* – birlamchi chulg‘amlarning ulanish sxemasi;

– *Winding 2 (ABC) connection* – ikkilamchi chulg‘amlarning ulanish sxemasi.

Measurement maydonida Winding Voltage operatsiyasi tanlangan, unda chulg‘amning kuchlanishi o‘lchanadi.



4.2–rasm. Uch fazali transformatorning parametrlarini sozlash oynasi

Tajriba ishni bajarish tartibi

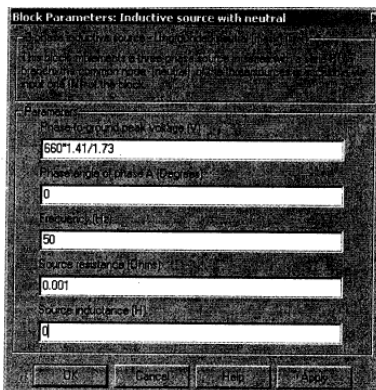
Tajriba ishini bajarish tartibi topshiriqning barcha 4 punkti uchun o‘zgarishsiz qoladi. Ta’minlash manbasining *Inductive source* parametrlari (4.1–rasm) transformatorning parametrlariga mos qilib olinadi. Ta’minlash manbasining parametrlarini sozlash oynasi 4.3–rasmda keltirilgan.

Modellashtirishning parametrlari 4.4–rasmda ko‘rsatilgan.

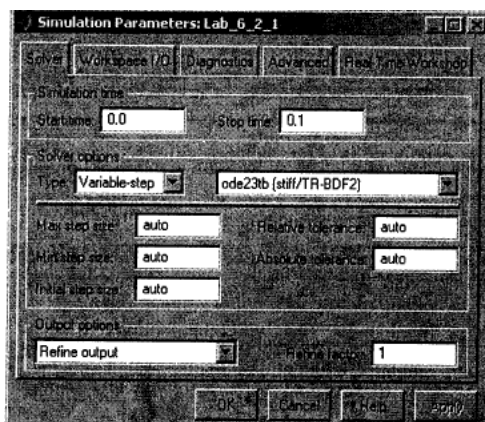
Topshiriqning har bir punkti uchun modellashtirish va 4.1–jadval alohida to‘ldiriladi.

4.1–jadval

Ulanish sxemasi	O'lchashlar								Hisoblash
	U_{1f} V	I_{1f} A	$U_{1\prime}$ V	φ_1 grad	U_{2f} V	I_{2f} A	$U_{2\prime}$ V	φ_{12} grad	Transformatsiyalash koeffitsienti



4.3–rasm. Uch fazali manbaning parametrlarini sozlash oynasi

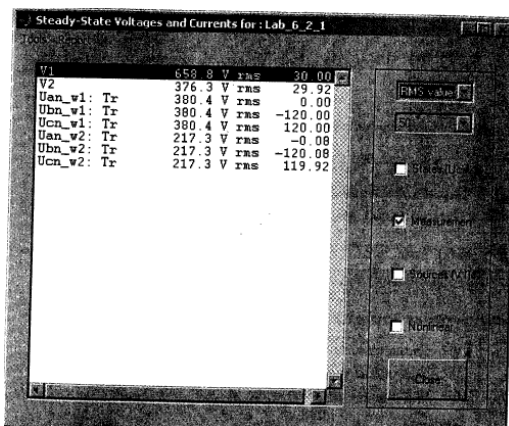


4.4–rasm. Modellashtirish parametrlari

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.

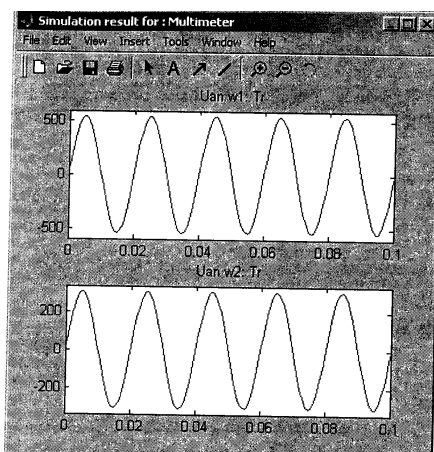
Transformatsiyalash koeffitsienti va kiruvchi (U_1) va chiquvchi (U_2) kuchlanishlar orasidagi fazalar farqi quyidagi formula orqali hisoblanadi:

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



4.5–rasm. Chulgʻamlar Y/Y ulanganda modellashtirish natijalari

4.6–rasmda Multimetr blokini grafiki keltirilgan.



4.6–rasm. Multimetr blokini grafik oynasida modellashtirish natijalari

Sinov savollari

1. Uch fazali transformatorning konstruksiyasini o'ziga xosligi nimadan iborat?
2. Chulg'amlarni ulanish sxemasi va guruhi qanday?
3. Uch fazali transformatorning asosiy parametrlari qanday aniqlanadi?

5 – laboratoriya ishi

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarini tadqiq qilish

Ishdan maqsad: uch fazali elektr tarmog‘ini modelini tuzishni o‘rganish, taqsimlovchi elektr tarmoq tizimini modellash tirishda bilimga ega bo‘lish.

5.1. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarini modellash tirish

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 ko‘pchilik iste’molchilari 10 (6) va 0,4 kV tarmoqdan ta’minlanadi, shuning uchun bu tarmoqlarga katta e’tibor beriladi.

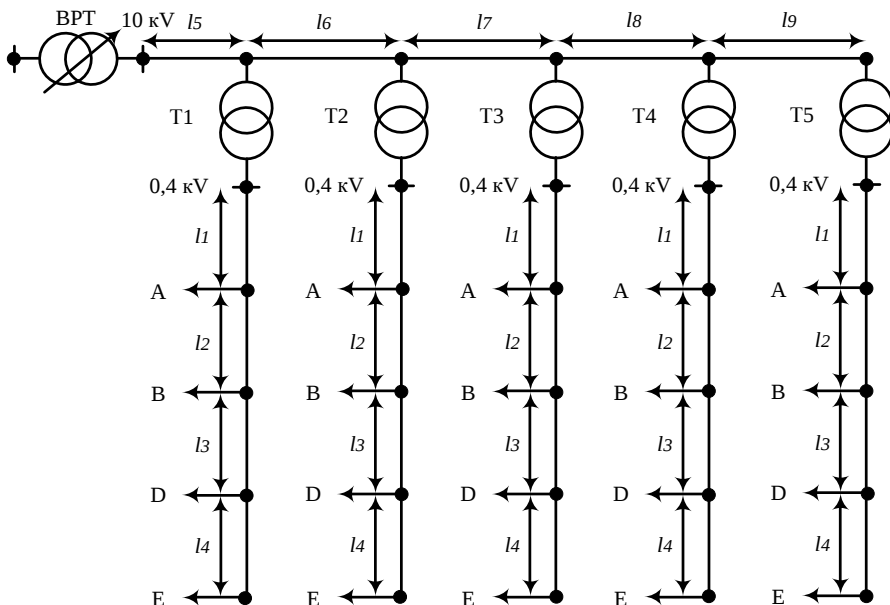
Taqsimlovchi elektr tarmoqlarni tadqiq qilish uchun uch fazali ko‘rinishni qo‘llash maqsadga muvofiqdir (5.1–rasm).

10 kV kuchlanishli uch fazali tarmoq (5.1–rasm), magistral turdagi tarmoq hisoblanadi. Iste’molchilar (A, B, D, E) 0,4 kV kuchlanishli beshta tarmoqdan ta’minlanadi, ular o‘z 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 o‘zgaruvchan kuchlanish manbai. Ushbu element SimPowerSystems kutubxonasining Electrical Sources ta’minlash manbalar bo‘limida joylashgan. U liniya kuchlanishining haqiqiy qiymati (phase-to-phase rms voltage), chastotasi (frequency), manba fazalarini ulanish sxemasi (internal connection) sozlanmalaridan tashkil topgan. Chulg‘amlarning ulanishini ko‘rinishi: Y–yulduz; Yn–nol o‘tkazgichli 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: toʻla nominal quvvat va chastota (nominal power and frequency); winding 1 (ABC) connection birlamchi chulgʻamning 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 chulg‘amining nominal kuchlanishi, kV; S – transformatorning nominal quvvati MV·A

Transformatorning ikkilamchi chulg‘ami uchun quyidagi parametrlar qabul qilamiz: ikkilamchi chulg‘am fazalararo kuchlanishining haqiqiy qiymati (*Winding 2 parameters*), ikkilamchi chulg‘amning aktiv qarshiligi $R2$ va induktivligi $L2$; ikkilamchi chulg‘am 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* bo‘limida joylashgan. Uning xarakteristikasi xuddi *Series RLC Branch* bloki kabi bo‘ladi. Ushbu blok EUL uchastkasini modellashtiradi.

4. **3-phase Series RLC Load** – uch fazali *RLC* yuklamalar ketma–ket ulangan kontur. Ushbu blok *SimPowerSystems* kutubxonasining *Elements* bo‘limida joylashgan.

Yuqorida sanab o‘tilgan elementlardan tashqari modellashtirish uchun kuchlanishning haqiqiy qiymatini o‘lchovchi blok (*RMS*) kerak bo‘ladi.

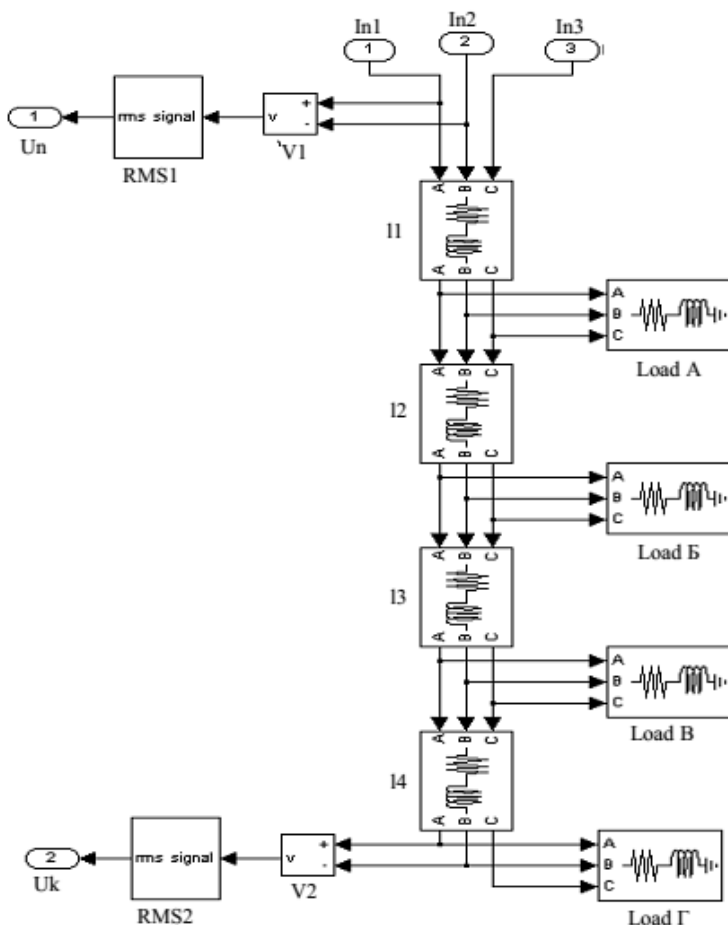
Modellashtirish jarayonida subtizimlardan foydalanish qulay, chunki bloklarni bitta blokka birlashtiradi. Buning uchun maxsus nimtizim (yoki *Subsystem*) ishlatiladi, u Simulink modelning bir qismi hisoblanadi, alohida blok ko‘rinishida bo‘lib o‘zining kirish (*Inport*) va chiqishiga (*Outport*) ega.

Modellashtirishda bunday bloklarni ishlatishning quyidagi qulayligi mavjud:

1) ishchi hududda aks etadigan bloklar soni kamayadi, barcha modellarni o‘zlashtirishni osonlashtiradi;

2) modelning alohida qismlarini yig‘ish va sozlash imkoniga ega, bu modellarni yig‘ish texnologiyasini osonlashtiradi;

3) shaxsiy kutubxona elementlarini yaratish imkonini beradi.



5.2 – rasm. 0,4 kV kuchlanishli tarmoq uchastkasi modelini nimitzim ko‘rinishi

Nimitzim asosiy model bilan kirish (*Inport*) va chiqish (*Outport*) kuch portlari, yoki ularga analogli bo‘lgan o‘lchov portlari orqali bog‘langan. Ushbu portlarni nimitzimlarga qo‘yish bu portni nomi va nomerini nimitzimning yuqori tomonida avtomatik amalga oshiriladi. Nimitzimni 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 blokda 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 (U_n) va oxiridagi (U_k) tarmoq kuchlanishining haqiqiy qiymati ishlatiladi. To'rtta yuklama bilan 0,4 kV kuchlanishli tarmoq uchastkasining nimtizimi 5.2–rasmda ko'rsatilgan.

5.2. Ishni bajarish tartibi

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

2. *File/New/Model* buyruqlarni bajarish yo'li 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. O'zingizning variantingizga muvofiq holda 5.1 va 5.2–jadvaldan parametrlarni tanlang. 0,4 kV kuchlanishli tarmoq uchastkasining to'la o'tkazuvchanligi va qarshiligini qiymatini hisoblang, yuklamaning quvvatini aniqlang, elementlar parametrini bering, bloklarni 5.2–rasmdagi kabi yig'ing.

Ko'rib o'tiladigan elektr tarmoqning modeli 5.3 – rasmda keltirilgan.

5. *Edit* menyusidan *Create Subsystem* buyrug'ini bajarib, tarmoqning qismini ajratib oling.

6. Yangi nimtizimni 0,4 kVli tarmoq soniga nusxa ko'chirib ko'paytiring.

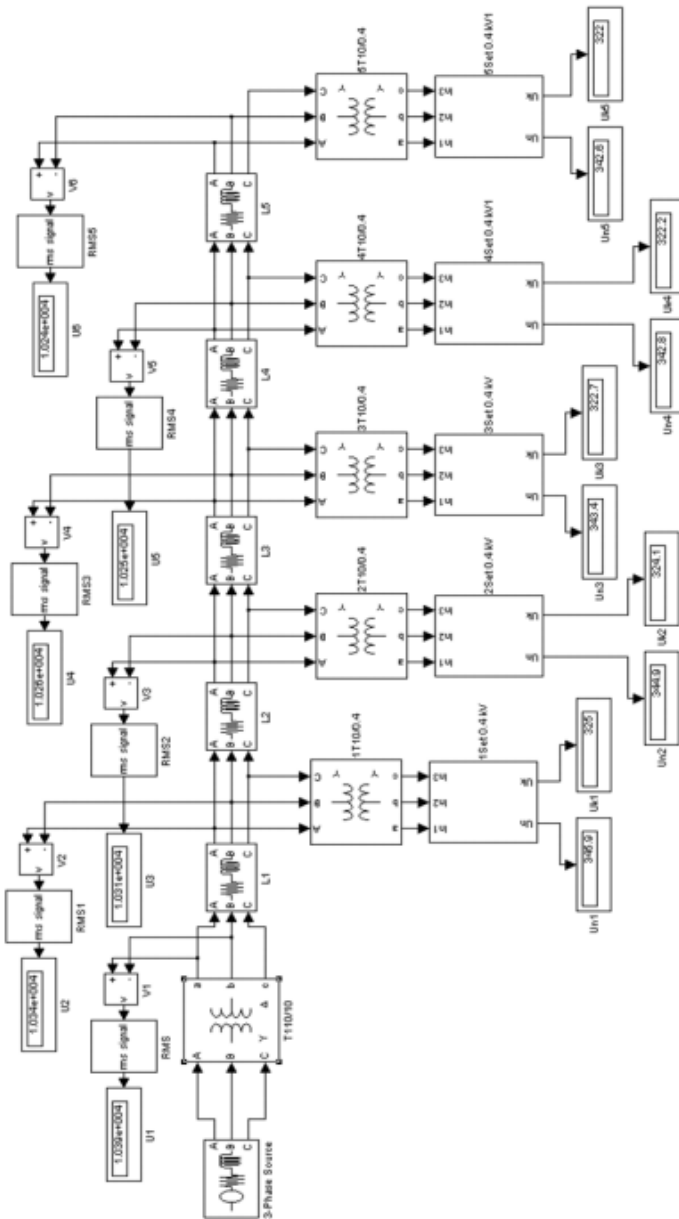
7. Elementlar bo'yicha asosiy magistralni yig'ing va uni BPT orqali uch fazali ta'minlash manbasiga ulang.

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

5.1–jadval

Taqsimlovchi tarmoq elementlarining parametrlari

Parametr	Variant									
	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	0,63+j0,297									
0,4 kV tarmoq yuklamasining aktiv qarshiligi, kVt										
A	30	20	24	24	28	24	21	17	22	21
B	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										
A	0,80	0,73	0,47	0,73	0,47	0,73	0,73	0,47	0,80	0,78
B	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 elektr tarmog‘ining imitatsion modeli

9. 5.1–bo‘limdagi tavsiyaga muvofiq transformatorlar parametrlarini bering.

10. Nazorat nuqtalariga o‘lchov asboblari ulang (5.3–rasm).

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

12. Laboratoriya ishi bo‘yicha hisobotni tayyorlang, unda 0,4 kV li sxemada nimitizim va taqsimlovchi tarmoqni modeli bo‘lishi lozim.

5.2–jadval

Ta‘minlovchi tarmoq elementlarining parametrlari

Parametr	Variant									
	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 o‘tkazgichining solishtirma qarshiligi, Om/km	0,33+0,332									
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

Sinov savollari

1. Taqsimlovchi va ta'minlovchi tarmoqlarni o'ziga xosligi farqini aytib bering?
2. Uch fazali transformator blokida qanaqa parametrlar birlamchi va ikkilamchi chulg'amni ifodalaydi?
3. *Simulink* da nimitizimni yaratish uchun qanday blok ishlatiladi?

6 – laboratoriya ishi

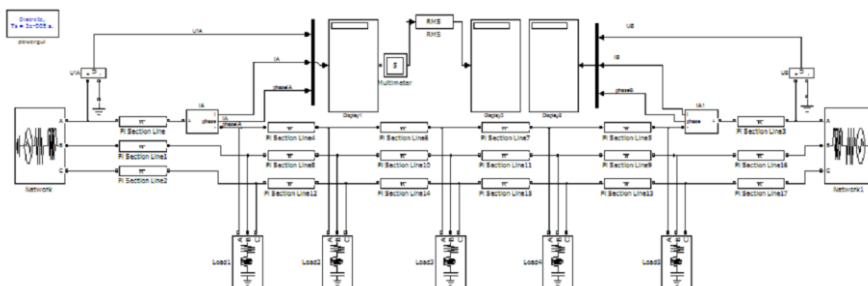
Elektr tarmoqni ish rejimini tadqiq qilish

Ishdan maqsad: uch fazali elektr tarmog‘ini “P” ko‘rinishli almashtirish sxemasi modelini tuzishni o‘rganish, taqsimlovchi elektr tarmoq tizimini modellashtirishda bilimga ega bo‘lish.

6.1. Uch fazali elektr tarmog‘ini modellashtirish

Tarmoqning birlamchi sxemasi ikki tarafdin 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 tarmog‘ini modellashtirish uchun *Simulink* bo‘limlarini oching va *Simulink* dan kerakli elementlarni modellashtirish uchun yaratilgan oynaga qo‘shing.

6.1–jadval

Elektr tarmog‘i ishlashini modellashtirish uchun ma’lumotlar

Parametr	Variant									
	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 l_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
H1–H5 liniyadagi yuklama, MVA	80+ j60	70+ j60	120+ j100	60+ j60	110+ j100	40+ j20	55+ j20	90+ j60	110+ j100	120+ j100
	60+ j80	50+ j80	100+ j120	60+ j80	115+ j120	40+ j20	30+ j20	60+ j80	115+ j120	90+ j70
	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	120+ j100

4. Elektr tarmog‘ining ish tartibini modellashtirish uchun 6.1–jadvaldan o‘z variantingizga mos ravishda ma’lumotlarni oling. Bunda liniya transpornirlangan va manba bilan eng yaqin yuklama orasidagi liniya uchastkasi l_m oraliq, shuningdek yuklamalar orasi, barcha uchastkalarining qarshiligi o‘zaro teng deb hisoblanadi.

5. Modelda yuklama xarakterini tarmoq kuchlanishining tartibiga ta'sirini aniqlang. O'lchov natijalarini 6.2–jadvalga kiriting.

6.2–jadval

Yuklama xarakterini tarmoq kuchlanishining tartibiga ta'siri

Yuklamani belgilanishi	O'lchov natijalari					Vektor diagramma va hisoblarining natijalari					
	U ₁ , B	\Delta U , B	U ₂ , B	I ₂ , A	\varphi, grad	I _{2a} , A	I _{2b} , A	\varphi ₁ , grad	\delta U, B	R, Om	X, Om
H ₁											
H ₂											
H ₃											
H ₄											
H ₅											

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

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

6.3–jadval

Kuchlanish bo'yicha yuklamalarni statik xarakteristikasini qurish uchun ma'lumot

Yuklamani belgilanishi	Ko'rsat.	O'lchov birligi	Turli kuchlanishda ko'rsatgichlar qiymati					
			0.9U _n	0.95U _n	U _n	1.05U _n	1.1U _n	1.15U _n
H ₁	I ₂							
	\varphi ₂							
	p ₁							
	q ₁							
H ₂	I ₂							
	\varphi ₂							
	p ₂							

	q_2							
H_3	I_2							
	φ_2							
	p_{1s}							
	q_{1s}							
H_4	I_2							
	φ_2							
	p_3							
	q_3							
H_5	I_2							
	φ_2							
	p_5							
	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

EUL ish rejimini xarakteri	UA, B	IA, A	φ A, grad	U1, B	U2, B	U3, B	U4, B	UB, B	IB, A	φ B, grad
UA=UB										
UA $\neq$ UB										
PAV UB=0										

Izoh. PAV – avariya dan 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 o'lchang va o'lchov natijalarini 6.5–jadvalga qo'ying.

6.5–jadval

Liniyani aktiv va reaktiv quvvatlarini o'lchash ma'lumotlari

	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									

9. 6.5–jadval ma'lumotlari asosida elektr tarmog'ida ko'rilgan kuchlanishni rostdash usullari uchun kuchlanishni liniya uchastkasining uzunligiga bog'liqligi $U = f(l_m)$ grafikni quring.

Sinov savollari

1. Nima uchun aktiv va reaktiv quvvat balansini bo'yicha bo'linish nuqtalari mos kelmaydi?
2. Reaktiv quvvat balansining chegarasi nima?
3. Tizimni loyihalashda nima uchun avariya dan keyingi rejim hisoblanadi.

7 – Laboratoriya ishi

Taqsimlovchi tarmoqda kuchlanish og'ishini tadqiq qilish

Ishdan maqsad: tarmoq elementlarida kuchlanish isrofini aniqlash va ta'minlovchi transformator shinasida ruxsat etilgan kuchlanish og'ish diapazonini hisoblashda amaliy ko'nikmalarga ega bo'lish.

7.1. Qisqacha nazariy ma'lumot

Elektr tarmog'ida o'rnatilgan kuchlanish og'ishi uzoq muddatli ravon kuchlanish o'zgarishi deb nomlanadi. Ishchi kuchlanishni darajasi elektr energiya iste'molchilarining texnik-iqtisodiy ko'rsatgichlariga jiddiy ta'sir ko'rsatadi.

Kuchlanish og'ishi uchun ikki turdagi normallangan qiymati o'rnatilgan: normal ruxsat etilgan ($\pm 5\%$) va oxirgi ruxsat etilgan ($\pm 10\%$).

Bu ko'rsatgichlar shuni ko'rsatadiki, elektr energiya har bir sutkaning 95 % davomida normal ruxsat etilgan og'ishdan ko'p bo'lmagan holda uzatiladi (22 soat 28 minut). Qolgan 5% (1 soat 12 minut) davomida og'ish $\pm 5\%$ 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 energiya 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 og'ishini me'yorlarini o'rnatadi.

Shuning uchun standartga mos ravishda tarmoq nuqtasining yuqori bo'lgan kuchlanishida hisobga olish nuqtasi zaruriy kuchlanish og'ishini hisoblash, ushbu iste'molchilarning chiqishlaridagi kuchlanish og'ishini me'yorlashtirishni ta'minlash zaruriyligidan kelib chiqadi.

Iste'molchi va hisoblash nuqtasi orasida joylashgan tarmoq turli elektrik xarakteristikalariga ega bo'lishi mumkin, shuning uchun 0.4 kV tarmoq va undan yuqori bo'lgan kuchlanishli tarmoq uchun standartda o'rnatilgan kattaliklarning farqi bo'lganda, bunga yo'l qo'yilishi mumkin. Aniq bir vaqt uchun bitta liniya va yuklamadan tashkil topgan tarmoqning biror nuqtasi uchun kuchlanishni hiqiqiy og'ishini hisoblash unchalik qiyin emas.

Shunday bo'lsada, amaliy hisoblashlarni bajarishda u quyidagilarga bog'liq bo'lgan ma'lum qiyinchiliklarni keltirishi mumkin:

- murakkab ko'rinishga ega tarmoq va abonentning ichki tarmog'iga 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 ($0 \pm 2,5\%$ va $\pm 5\%$) iborat. Ushbu transformatorlar uzoq vaqt intervali davomida o'zgarmas shaxobchada ishlaydi va ishchi shaxobchani o'zgartirish uchun ularni tarmoqdan uzish kerak. Agar iste'molchiga tegishli bo'lgan hisob nuqtasi transformatorning 35–220 kV tomonida joylashgan bo'lsa, u holda 10 kV li shinada kuchlanishni rostlash uni o'chirishsiz amalga oshiriladi. Bunaqa rostlash yuklama ostida rostlash (RPN) deb nomlanadi. 110 kV kuchlanishli transformator uchun diapazon $\pm 16\%$ tashkil etadi.

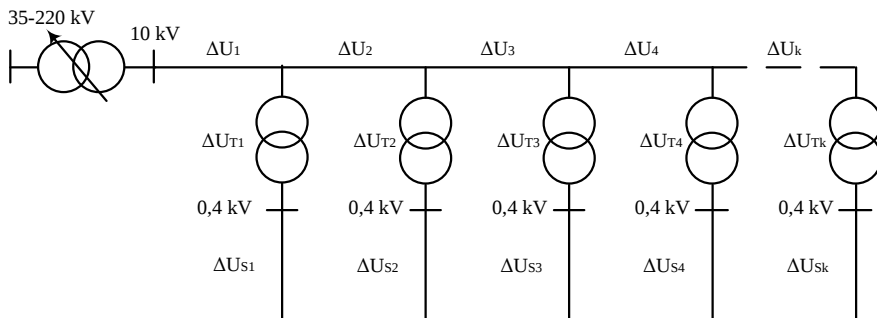
- yuklamani sutkali o'zgarishi, bu elektr energiyani hisob nuqtasi va iste'molchilarni ulanish nuqtasi orasida kuchlanish isrofini keltirib chiqadi. Buning natijasida kuchlanish og'ishining umumiy diapazoni hisob nuqtasi uchun to'liq bo'lmaydi. Bu esa sutkaning turli davri uchun kuchlanish og'ishining diapazonini aniqlash talab etadi.

Kuchlanish og'ishining ruxsat etilgan chegaraviy diapazoni sifatida quyidagilarni qabul qilamiz: yuklama eng katta bo'lgan rejimda V_{b1} (quyi) va V_{b2} (yuqori), yuklama eng kichik bo'lgan 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 og'ishini darajasini aniqlaymiz.

Taqsimlovchi tarmoq misolida kuchlanish og'ishining ruxsat etilgan diapazonini hisoblash metodini ko'rib 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 og'ishini ruxsat etilgan diapazonini hisoblashning ketma–ketligi

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

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

2. Hisobiy nuqtada kuchlanishning maksimal darajasi hisoblanadi, ya'ni hisobiy nuqtada kuchlanish og'ishining isrofi eng kichik bo'ladigandagi talab aniqlanadi. Hisobiy nuqtada kuchlanishning og'ishi +5% dan oshirmasa, agarda hisobiy nuqtada u quyidagidan katta bo'lmaydi

$$V_{b2} = 5 + \Delta U'_{1k \rightarrow \min} \quad (7.2)$$

3. Yuklama eng katta bo'lgan rejimda T1–T5 ning 0,4 kV li shinasida kuchlanish og'ishi quyidagi formuladan aniqlanadi

$$\delta V_k' = V_{b2} - \Delta U_1' \quad (7.3)$$

4. Yuklama eng katta bo'lgan rejimda hisobiy nuqta uchun kuchlanish og'ishining quyi chegarasi aniqlanadi, u ushbu rejimda 0,4 kV li tarmoqning eng uzoqdagi nuqtasining kuchlanish darajasi uchun talab aniqlanadi. Ushbu nuqtalar uchun kuchlanishning og'ishi daraja bo'yicha aniqlanadi

$$\delta U_{ky}' = \delta U_k' - \Delta U_{ck} \quad (7.4)$$

$\delta U_{ky}'$ minimal bo'ladigan tarmoq kuchlanish og'ishini ruxsat etilgan diapazonining quyi chegarasini topishning aniqlovchisi hisoblanadi, u quyidagi formula orqali hisoblanadi

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

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

$$\Delta U_k'' = 0,3 \Delta U_k' \quad (7.6)$$

$\Delta U_k''$ ning minimal qiymati kuchlanishning eng yuqori darajasini ko'rsatadi, shuning uchun aynan ushbu qiymat yuklama eng kichik bo'lgan rejimda ruxsat etilgan kuchlanish og'ishining yuqori chegarasini aniqlaydi, u quyidagi formuladan aniqlanadi

$$V_{m2} = 5 - \Delta U_{k \rightarrow \min}'' \quad (7.7)$$

6. Yuklama eng kichik bo'lgan rejimda T1–T5 ning 0,4 kV li shinasida kuchlanish og'ishining qiymati quyidagi formula orqali hisoblanadi

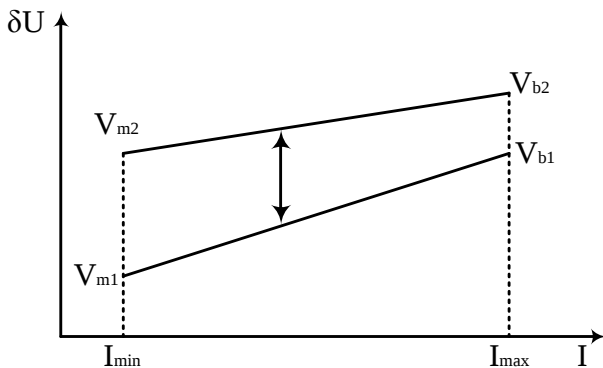
$$\delta U_k'' = V_{m2} - \Delta U_k'' \quad (7.8)$$

7. Yuklama eng kichik bo'lgan rejimda 0,4 kV li tarmoqning eng uzoqdagi nuqtasida kuchlanishning og'ishi shu tarmoqdagi isrof darajasida kamayadi va quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$\delta U_{ky}'' = \delta U_k'' - 0,3\Delta U_{ck} \quad (7.9)$$

8. Yuklama eng kichik bo'lgan rejimda kuchlanish og'ishini ruxsat etilgan diapazonining quyi chegarasi yuklama eng katta bo'lgan rejimdagi kabi bo'ladi.

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



7.1–rasm. Ruxsat etilgan kuchlanish og'ishi grafiting umumiy ko'rinishi

Bundan kelib chiqadiki, 7.1–7.10 formulalar orqali kuchlanish og'ishining ruxsat etilgan qiymatlari diapazoni yuklama eng katta va eng kichik bo'lgan 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. Modellash tirish jarayoni tugashi bilan nazorat nuqtalaridagi voltmترلarni 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 modellash tirilgan 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 meʼyoriy hujjat belgilaydi?

2. Kuchlanish ogʻishini turgʻunligi nima va uning qanday meʼyorlashtirilgan 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?

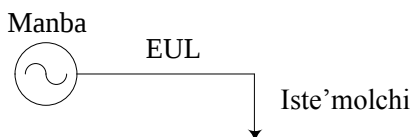
8 – Laboratoriya ishi

EULda kuchlanishni rostdash usullarini tadqiq qilish

Ishdan maqsad: elektr tarmog‘ining ish tartibini va kuchlanishni rostdash usullarini Simulink dasturida imitatsion modeli asosida tadqiq qilish.

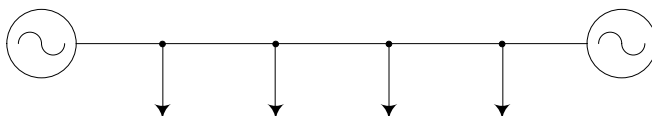
8.1. Qisqacha nazariy ma’lumot

“Manba–EUL–iste’molchi” sxemasi asosidagi elektr tarmog‘ining sig‘imli ko‘ndalang kompensatsiyasining hisobiy sxemasi 8.1–rasmda keltirilgan.



8.1–rasm. Elektr tarmog‘ining ko‘ndalang kompensatsiyasi uchun hisobiy sxema

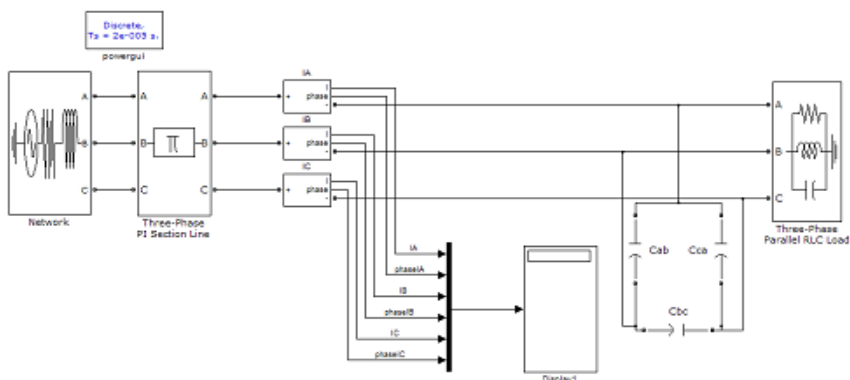
Ikkita ta’minot manbasi va shaxobchalangan EUL ni o‘z ichiga olgan elektr tarmog‘ining sig‘imli bo‘ylama kompensatsiyasining hisobiy sxemasi 8.2–rasmda keltirilgan



8.2–rasm. Bo‘ylama kompensatsiyani o‘lchash uchun hisobiy sxema

Reaktiv quvvatni ko‘ndalang va bo‘ylama kompensatsiya yordamida kuchlanishni rostdash usullari keng tushuntirilgan [2].

Simulink dasturida sig‘imli ko‘ndalang kompensatsiyaning imitatsion modeli 8.3–rasmda keltirilgan

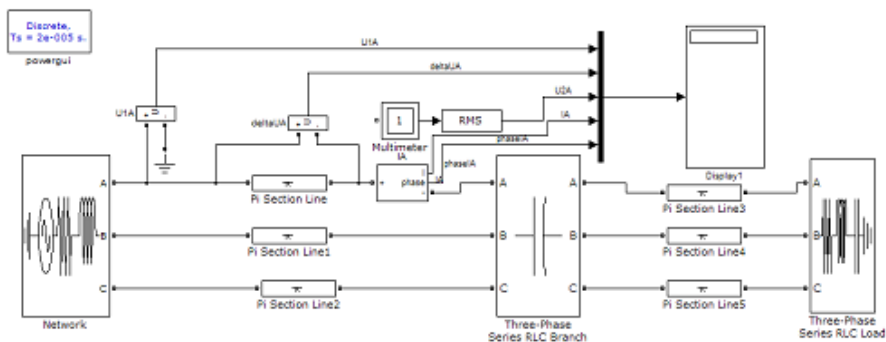


8.3–rasm. Sig'imiylar ko'ndalang kompensatsiyaning imitatsion modeli

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

Bo'ylama kompensatsiya holati uchun tarmoqning imitatsion modelining ko'rinishi 8.3–rasmda keltirilgan.

Ushbu model quyidagilardan iborat: ikkita uch fazali ta'minot manbasining bloki, liniyaning har bir fazasiga ulangan liniyaning “P” ko'rinishli almashtirish sxemasining ikkita bloki, kondensator batareyasining uch fazali bloki va o'lchov elementlari.



8.4–rasm. Tarmoqning ko'ndalang kompensatsiyasini imitatsion modeli

Elektr tarmog'ida kuchlanishni rostlashning o'lchov ma'lumotlari

8.1-jadval

Kuchlanishni rostlash usuli	Transformatorni YuK chulg'aming shaxobchalari	U_{10}	U_{20}	K_t	U_1	I_1	φ_1	$ \Delta U $	U_2	I_2	φ_2	U_{yukl}	ΔU_c	U_{2K}
	%	V	V	–	V	A	gra	V	V	A	grad	V	V	V
	+10													
	+5													
	0													
	–5													
	–10													
Ko'ndalang kompensatsiya	0													
Bo'ylama 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 tarmog'ini modellashtirish uchun *Simulink* bo'limlarini oching va *Simulink* dan kerakli elementlarni modellashtirish uchun yaratilgan oynaga qo'shing.

4. O'qituvchi tomonidan o'zingizni variantingizga mos ravishda individual ma'lumot oling va modellashtirish uchun ishga tushing.

5. Modellashtirish natijasi o'lchangan parametrlarni yozing va 8.1–jadvalni to'ldiring.

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 yo'li bilan elektr tarmog'ida kuchlanishni rostdlash 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'rsatkichlarini qat'iy belgilaydi.

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

3. Ko'ndalang kompensatsiyani ishlash shartini tushuntiring.

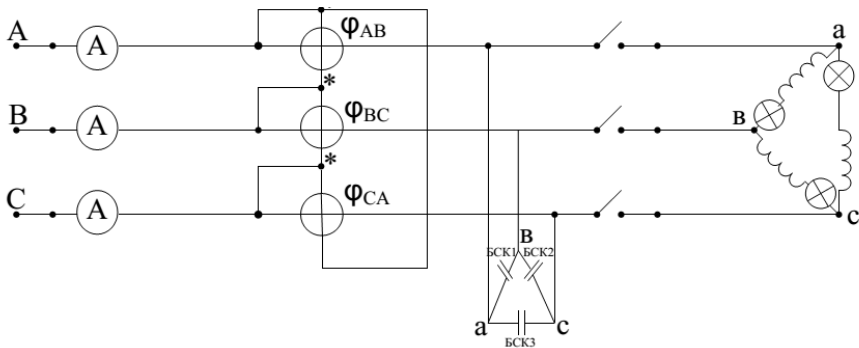
9 – Laboratoriya ishi

Ishdan maqsad:

9.1. Qisqacha nazariy ma'lumot

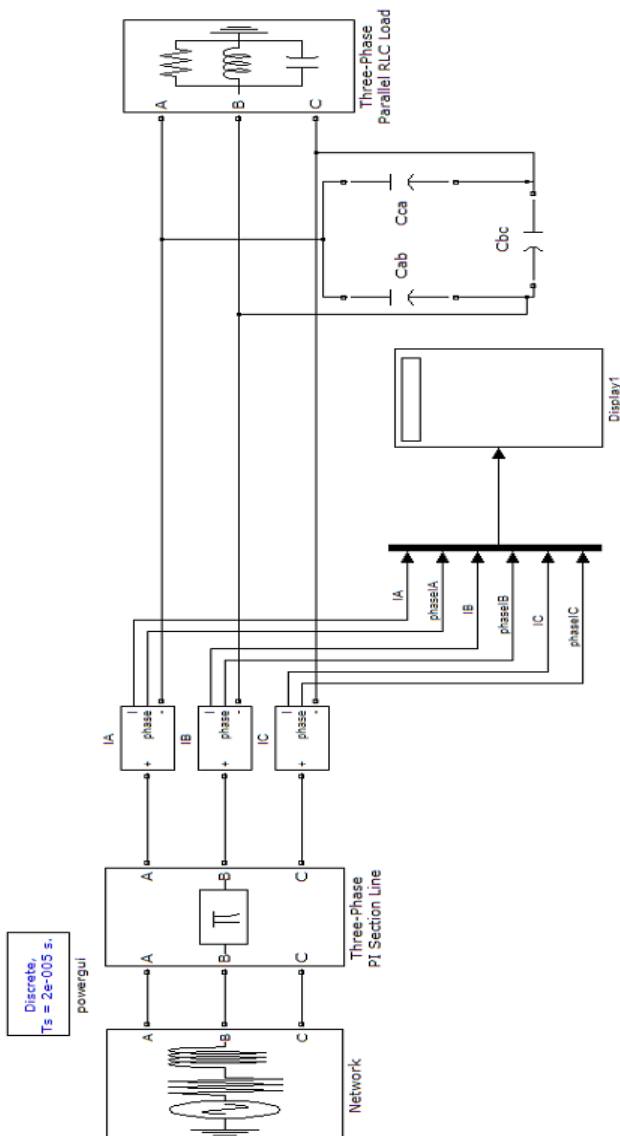
Statik kondensator batareyalari 6 – 220 kV kuchlanishli tarmoqlarda kuchlanishni oshirish uchun (3–4 % gacha) mo'ljallangan. Bundan tashqari, statik kondensator batareyalari energiya oqimini to'g'rilash va yuklamalarning reaktiv quvvatini o'zgartirish vositasi orqali energotizimda kuchlanishni rostdash 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” ko‘rinishli almashtirish sxemasining bloki, kondensator batareyasining elementlar bloki va uch fazali RLC yuklamalar bloki, shuningdek o‘lchov asboblardan 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 tarmog‘ini modellashtirish uchun *Simulink* bo‘limlarini oching va *Simulink* dan kerakli elementlarni modellashtirish uchun yaratilgan oynaga qo‘shing.

4. O‘zingizning variantingizga muvofiq holda o‘qituvchidan individual tarzda ma’lumot oling va modellashtirishga kirishing.

5. Modellashtirish natijalari bo‘yicha kondensator batareyalari turlicha ulangan sxemalar uchun o‘lchangan parametrlarni qayd qilib boring. 9.1, 9.2 va 9.5–jadvallarni to‘ldiring.

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

7. 9.3–jadvalning ma’lumotlari asosida Sig‘imlarni qiymatini hisoblang va 9.4–jadvalni to‘ldiring.

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

9.1–jadval

Statik kondensator batareyalarining sxemasini tadqiq qilish

Ko‘rsatkich	O‘lchov birligi	SKB sxemasi						
		Uch fazali	Ikki fazasi			Bir fazali		
			ab–bc	bc–ca	ca–ab	ab	bc	ca
1	2	3	4	5	6	7	8	9
IA								
IB								
IC								
φ_{AB}								

φ_{BC}								
φ_{CA}								
φ_A								
φ_B								
φ_C								

Toklarning nosimmetriya vektorining moduli quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$\alpha_I = \frac{I_{A2}}{I_{A1}} \quad (9.1)$$

Simmetrik tashkil etuvchilar metodining asosiy formulasidan foydalangan holda toklarning to'g'ri va teskari ketma-ketlik toklarni tashkil etuvchilarini aniqlaymiz:

to'g'ri ketma-ketlik

$$I_1 = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a \cdot \dot{I}_B + a^2 \cdot \dot{I}_C) \quad (9.2)$$

teskari ketma-ketlik

$$\dot{I}_2 = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a^2 \cdot \dot{I}_B + a \cdot \dot{I}_C) \quad (9.3)$$

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

Ko'rsatkich	O'lchov birligi	Uch fazali simmetrik yuklama	SKB sxemasi						
			Uch fazali simmetrik	Ikki fazasi			Bir fazali		
				ab–bc	bc–ca	ca–ab	ab	bc	ca
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA									
IB									
IC									
φ_{AB}									
φ_{BC}									
φ_{CA}									
φ_A									
φ_B									
φ_C									

9.3–jadval

Statik kondensator batareyalarining faza sig'irlarini simmetriyalash
uchun formulalar

	β qiymatning chegarasi	SKB faza sig'imi, mkF		
		C_{AB}	C_{BC}	C_{CA}
I	$-900 < \beta < 300$			
II	$300 < \beta < 1500$			
III	$1500 < \beta < 2700$			

9.4–jadval

SKB faza sig'irlarini simmetriyalash natijalarini aniqlash

Parametr xarakteristikasi	SKB faza sig'irlarini simmetriyalash, mkF								
	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

Statik kondensator batareyalarining simmetriyalash samaradorligini
tadqiq qilish

Ko'rsatkich	O'lchov birligi	Nosimmetrik yuklama va simmetriyalovchi SKB bo'lgandagi sxema								
		Uch fazali			Ikki fazali			Bir fazali		
		SKB siz	SKB	SKB bilan	SKB siz	SKB	SKB bilan	SKB siz	SKB	SKB bilan

Sinov savollari

1. SKB da bajarilgan ko'ndalang va bo'ylama kompensatsiyani asosiy farqini ayting?
2. Yuklama turlicha ko'rinishda bo'lganda SKB kompensatsiyasida farq bo'ladimi?
3. SKB ning simmetriyalovchi ishi nimadan iborat?
4. SKB ning kompensatsiyalovchi ishi nimadan iborat?

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Моделирование питающих и распределительных сетей: метод. пособие по выполнению виртуальных лабораторно-практических 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 MATLAB: 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
6 – laboratoriya ishi. Elektr tarmoqni ish rejimini tadqiq qilish....	44
7 – laboratoriya ishi. Taqsimlovchi tarmoqda kuchlanish og'ishini 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 ro'yxati.....	65
Mundarija.....	66

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