

62131

N-18



Հ. Գ. ՈՒՆՈՒՄ

ՕՐԱՐԱՆԻ ԴԱՏԱՎՈՐԱՆ

Որպես ցուցանիշ



Կոմիտեի 2014

"O'zbekiston temir yo'llari" DATK
Toshkent temir yo'l muhandislari instituti

O'TKINCHI JARAYONLAR

5520200 – “Elektr energetika” ta'lim yo'nalishidagi
3-bosqich bakalavriat talabalari uchun “O'tkinchi jarayonlar”
fanidan kurs ishini bajarishga oid uslubiy ko'rsatma

Toshkent – 2012

UDK 621.311

Uslubiy ko'rsatma 5520200 – "Elektr energetika" bakalavriat yo'nalishi bo'yicha ta'lim olayotgan talabalarga "O'tkinchi jarayonlar" fanining "Elektromagnit o'tkinchi jarayonlar" bo'limidan kurs ishini bajarish uchun tuzilgan bo'lib, elektr sistemalarda uch fazali qisqa tutashuvlarni analitik va amaliy usullarda hisoblashga mo'ljallangan.

13 ta jadval, 22 ta rasm, 10 ta adabiyot

Institutning O'quv-uslubiy komissiyasi tomonidan nashrga tavsiya etildi.

Tuzuvchi: Z.G. Nazirova (Rahimova) – t.f.n., dot.

Taqrizchilar: K.R. Allayev –t.f.d., prof. (TDTU);
M.S. Yakubov – t.f.n., dot.

Kirish

Kurs ishining maqsadi – talabalarni elektromagnit o'tkinchi jarayonlar, jumladan qisqa tutashuvlar to'g'risida nazariy bilimlarini mustahkamlash; qisqa tutashuv toklarni hisoblash uchun analitik va amaliy usullardan foydalanish bo'yicha ko'nikmalarni hosil qilish; kurs ishi tushuntirish xatini shakllantirish va qisqa tutashuv toklarni hisoblash bo'yicha tartiblarni belgilash hamda talabalarga muhandislik hisoblarida kerak bo'ladigan jadval va grafik bog'lanishlar bilan ta'minlashdan iborat.

Talabalar kurs ishi bajarish natijasida:

- elektr sistema (ES), elektromagnit o'tkinchi jarayonlar, qisqa tutashuv(QT)lar, hisobiy farazlar, ekvivalent o'zgartirishlar, nomli va nisbiy birliklar sistemasi, o'rtacha nominal kuchlanishlar, bazis kattaliklar, ekvivalent almashish sxemasi, hisobiy sxemaning har bitta elementining elektr yurituvchi kuchi (EYUK) va qarshiligini hisoblash formulalari hamda keltirish formulalari to'g'risida bilishi;
- elektr sistemadagi o'tkinchi jarayon hamda QT larning turlarini, prinsipial, hisobiy va almashish sxemalarni ajrata olishi;
- QT ni analitik va amaliy, aniq va taqribiy hisoblari o'rtasidagi farq hamda nima uchun QT hisoblari olib borilishini tushinishi kerak.

Shuningdek talabalar quyidagi ko'nikmalarga ega bo'lishi lozim:

- yuklama va QT nuqtasi joylashishiga qarab hisobiy va ekvivalent almashish sxemalarini hamda hisoblar natijasida olingan QT tokining periodik tashkil etuvchisining vaqt bo'yicha o'zgarish grafigini qurishi;
- ekvivalent o'zgartirishlar, o'rtacha nominal kuchlanishlar shkalasi, hisobiy egri chiziqlardan foydalanishi, transformatorlar mavjud bo'lsa rejim va sistema parametrlarni bitta kuchlanish pog'onasiga keltirishi, QT toklarning har xil qiymatlarini hisoblashi va hisobiy egri chiziqlar bo'yicha ularning nisbiy periodik tashkil etuvchilarini topishi;
- kerak bo'lgan usul yoki hisobiy formulani to'g'ri tanlash uchun hisobiy sxema va dastlabki ma'lumotlarni tahlil qila bilishi, qo'llanilgan usullarni o'zaro solishtira olishi;
- bajarilgan kurs ishi natijalari bo'yicha xulosalarni chiqara olishi kerak.

Quyida qisqa tutashuv toklarini hisoblash usullarini amalga oshirish konkret masalalarni echish misolida keltirilgan. Undan tashqari kurs ishiga qo'lda yechilgan natijalarni kompyuterda tekshirish bandi kiritilgan. Programma muallif tomonidan Microsoft Excel dasturida tuzilgan bo'lib, elektr sistemadan har bitta yuklama va QT nuqtasi joylashishiga qarab hosil bo'ladigan hisobiy sxemalar strukturasiga alohida tuzilgan.

1. Kurs ishi topshirig'i, variantlari va tushintirish xati rasmiylashtirishiga qo'yilgan talablar

1.1 Kurs ishi topshirig'i

Elektr sistemaning dastlabki prinsipial sxemasi (1.1-rasm) bo'yicha berilgan variant uchun hisobiy sxema tuzilsin va uning parametrlari aniqlansin. Uch fazali qisqa tutashuvni hisoblash ikki usulda bajarilsin: analitik va amaliy.

1) nomli birliklarda analitik usul bo'yicha hisoblash tartibi

Elektr sistemaning $K^{(3)}$ nuqtasida uch fazali QT bo'lganda quyidagi qiymatlarni nomli birliklarni va aniq keltirishni qo'llab, analitik usulda hisoblang:

- QT tokning periodik tashkil etuvchisi boshlang'ich (o'tao'tkinchi tok) qiymatini;
- zarbiy tok (eng katta oniy tok) qiymatini.

2) nisbiy birliklarda amaliy usul bo'yicha hisoblash tartibi

Elektr sistemaning berilgan nuqtasida uch fazali QT $K^{(3)}$ bo'lgan rejim uchun quyidagilarni nisbiy birliklarni va tahminiy keltirishni qo'llab, hisobiy egri chiziqlar usulida bajaring:

- barcha manbalarning va QT to'la toklarini hisoblang;
- QT toki periodik tashkil etuvchisining vaqt bo'yicha o'zgarish grafigini quring.

3) kompyuterda hisoblash natijalarini tekshirish tartibi

1chi va 2-bandlar natijalari olingandan so'ng o'qituvchi yordamida bajariladi. Aniqlangan xatolarni bartaraf eting.

Izoh:

- barcha manbalar QT sodir bo'lishidan oldin nominal rejimda ishlagan deb hisoblanadi;
- hisoblar aniq keltirilgan nomli birliklarda bajarilsa, transformatorlarning haqiqiy transformatsiya koeffitsientlarini hisobga olgan holda bajariladi;
- variant nomeri talabaga o'qituvchi tomonidan beriladi;
- variant nomeriga muvofiq 4-jadvaldan 1, 2, 3-jadval qatorlari raqamlari olinadi. Ulardan ES elementlarining parametrlari hamda yuklama va uch fazali QT nuqtasi $K^{(3)}$ joylashishi haqidagi ma'lumotlar ko'chiriladi.

1.1-rasm. Elektr sistemaning dastlabki prinsipial sxemasi.

Variant №		Sxema (1.1-rasm) dagi belgilanish	Sxema elementlarining parametrlari (transformator)						
			Nominal quvvat, S _n (MVA)	Chulg'am kuchlanishi (kV)			U _k %		
		B (yuqori)		C (o'rta)	H (past)	B-C	B-H	C-H	
1	T-1	16	230	-	6,3	-	12	-	
	T-2,3	80	230	38,5	11	12,5	20	6,5	
	T-4,5	40	115	-	38,5	-	10,4	-	
	T-6,7	32	230	-	38,5	-	12	-	
	T-8,9	250	230	115	11	11	32	20	
2	T-1	125	242	-	10,5	-	11	-	
	T-2,3	40	230	38,5	10,5	12,5	22	9,5	
	T-4,5	25	115	-	11	-	10,5	-	
	T-6,7	63	230	-	10,5	-	12,5	-	
	T-8,9	200	230	115	38,5	10,5	22	9,5	
3	T-1	32	230	-	10,5	-	12,5	-	
	T-2,3	100	236	121	18	10,5	24	13	
	T-4,5	16	115	-	10,5	-	10	-	
	T-6,7	25	230	-	38,5	-	11	-	
	T-8,9	125	242	121	38,5	10,5	24	13	

1.2 Kurs ishi variantlari

1-jadval

Sxema elementlarining parametrlari (manba)												
Variant №	G-1				G-2				Sistema			
	Nominal quvvat, S _n (MVA)	Nominal kuchlanish, U _n (kV)	O'tao'tkinchi qarshilik, X _d ''	Cos φ	Nominal quvvat, S _n (MVA)	Nominal kuchlanish, U _n (kV)	O'tao'tkinchi qarshilik, X _d ''	Cos φ	Nominal quvvat, S _n (MVA)	To'g'ri ketma-ketlik qarshiligi, X _{1s}	Nolinchi ketma-ketlik qarshiligi, X _{0s}	
1	125	10,5	0,21	0,8	15	6,3	0,13	0,8	∞	0	14 Om	
2	68,75	10,5	0,13	0,8	117,5	10,5	0,16	0,85	2000	12 Om	0,2 n.b.	
3	176,5	18	0,21	0,85	37,5	10,5	0,14	0,8	3000	0,2 n.b.	11 Om	
4	75	11	0,12	0,8	125	10,5	0,21	0,8	2500	10 Om	0,2 n.b.	
5	37,5	10,5	0,14	0,8	235,3	15,75	0,19	0,85	1000	0,4 n.b.	11 Om	
6	117,5	10,5	0,16	0,85	68,75	10,5	0,13	0,8	∞	0	10 Om	
7	62,5	6,3	0,13	0,8	117,5	10,5	0,16	0,85	4000	0,3 n.b.	8 Om	
8	15	6,3	0,13	0,8	176,5	18	0,21	0,85	∞	0	12 Om	
9	68,75	10,5	0,13	0,8	125	10,5	0,21	0,8	1500	0,4 n.b.	0,2 n.b.	
0	37,5	6,3	0,15	0,8	75	11	0,12	0,8	1000	0,2 n.b.	0,1 n.b.	

2-jadval

Variant № (1-raqam)	Sxema (1-rasm) dagi belgilanish	Sxema elementlarining parametrlari (transformator)						
		Nominal quvvat, S _n (MVA)	Chulg'am kuchlanishi, kV			U _k %		
			B (yuqori)	C (o'rta)	H (past)	B-C	B-H	C-H
4	T-1	125	242	-	10,5	-	11	-
	T-2,3	63	230	38,5	11	12,5	24	10,5
	T-4,5	25	115	-	38,5	-	10,5	-
	T-6,7	63	230	-	38,5	-	12	-
	T-8,9	160	230	121	6,6	11	32	20
5	T-1	200	242	-	15,75	-	11	-
	T-2,3	40	230	38,5	10,5	20,5	12,5	7,5
	T-4,5	10	115	-	11	-	10,5	-
	T-6,7	80	230	-	10,5	-	12	-
	T-8,9	63	230	121	38,5	11	35	22
6	T-1	63	230	-	10,5	-	12	-
	T-2,3	80	230	38,5	11	24	12,5	10,5
	T-4,5	16	121	-	11	-	10,5	-
	T-6,7	32	230	-	6,6	-	11	-
	T-8,9	100	230	115	11	11	31	19
7	T-1	125	242	-	10,5	-	11	-
	T-2,3	40	230	38,5	6,3	12,5	20,5	7,5
	T-4,5	63	115	-	10,5	-	10	-
	T-6,7	40	230	-	11	-	12	-
	T-8,9	250	230	121	38,5	11	32	20
8	T-1	160	230	-	18	-	11	-
	T-2,3	10	230	38,5	6,3	12,5	20	6,5
	T-4,5	25	115	-	38,5	-	11	-
	T-6,7	80	230	-	38,5	-	11	-
	T-8,9	200	230	121	11	10,6	32	19,5
9	T-1	125	242	-	11	-	12	-
	T-2,3	63	230	38,5	11	12,5	24	10,5
	T-4,5	10	115	-	10,5	-	10,5	-
	T-6,7	63	230	-	6,3	-	12	-
	T-8,9	125	230	115	38,5	11	31	19
0	T-1	80	242	-	11	-	11	-
	T-2,3	40	230	38,5	6,3	22	12,5	9,5
	T-4,5	63	115	-	6,6	-	10,5	-
	T-6,7	25	230	-	10,5	-	10,5	-
	T-8,9	63	230	115	6,6	11	32	20

3-jadval

Variant № (2-raqam)	Sxema elementlarining parametrlari (elektr uzatish liniya va yuklama)						Uch fazali QT nuqtasi raqami $K_n^{(3)}$
	L-1, L-2 (km)	L-3 (km)	L-4 (km)	L-5, L-6 (km)	Yuklama raqami	Yuklama nominal quvvati, S_n (MVA)	
1	70	150	110	40	N -1	5	1
2	80	120	90	60	N -2	50	2
3	110	80	100	50	N -4	22	3
4	140	70	120	40	N -4	35	4
5	95	90	50	65	N -2	12	5
6	60	85	70	35	N -3	24	6
7	100	110	80	50	N -3	40	7
8	90	140	100	30	N -6	6	8
9	120	100	95	45	N -5	80	9
0	85	75	90	35	N -4	9	0

4-jadval

Variant №	Jadval		Variant №	Jadval		Variant №	Jadval		Variant №	Jadval		Variant №	Jadval	
	I; 2	3		I; 2	3		I; 2	3		I; 2	3		I; 2	3
1	1	1	21	1	3	41	1	5	61	1	7	81	1	9
2	2	2	22	2	4	42	2	6	62	2	8	82	2	0
3	3	3	23	3	5	43	3	7	63	3	9	83	3	1
4	4	4	24	4	6	44	4	8	64	4	0	84	4	2
5	5	5	25	5	7	45	5	9	65	5	1	85	5	3
6	6	6	26	6	8	46	0	9	66	6	2	86	6	5
7	7	7	27	7	9	47	7	1	67	7	3	87	7	5
8	8	8	28	8	7	48	8	2	68	7	6	88	8	6
9	9	9	29	9	1	49	9	3	69	9	5	89	9	7
10	0	0	30	0	2	50	0	4	70	0	6	90	0	8
1														
11	1	2	31	9	8	51	1	6	71	1	8	91	5	4
12	2	3	32	2	5	52	2	7	72	2	9	92	2	1
13	3	4	33	3	6	53	3	8	73	3	0	93	3	2
14	4	5	34	4	7	54	4	9	74	4	1	94	4	3
15	5	6	35	5	8	55	5	0	75	5	2	95	1	2
16	6	7	36	6	9	56	6	1	76	6	3	96	6	9
17	7	8	37	7	0	57	7	2	77	7	4	97	8	9
18	8	9	38	8	1	58	8	3	78	8	5	98	6	3
19	9	0	39	9	2	59	9	4	79	9	6	99	1	4
20	0	1	40	0	3	60	0	5	80	0	7	100	8	0

1.3 Tushuntirish xatini rasmiylashtirishga qo'yiladigan talablar

Kurs ishi quyidagilardan iborat bo'lishi lozim:

- 1) titul varaqasi (1-ilovaga qarang);
- 2) ishni bajarish jadvali;
- 3) topshiriq matni va dastlabki ma'lumotlar;
- 4) mundarija;
- 5) kirish;
- 6) qisqacha nazariy qismi;
- 7) asosiy qismi;
- 8) xulosa;
- 9) ilovalar;
- 10) foydalangan adabiyotlar ro'yxati.

Mundarijaga tushuntirish xatning tarkibiy qismlari quyidagi ketma-ketlida kiritiladi: kirish, asosiy qisqacha nazariy ma'lumotlar, asosiy qismning bo'lim va nimbo'limlari, xulosa, ilovalar, foydalangan adabiyotlar ro'yxati.

Kirish qismida elektr energetik sistemalarida, shu jumladan, elektrlashtirilgan temir yo'l elektr ta'minoti sistemalarida elektromagnit o'tkinchi jarayonlarni hisoblash masalasi ko'yiladi. Tushuntirish xatining xajmi (betlar, rasmlar, jadvallar, adabiyotlar va ilovalar soni) to'g'risida ma'lumot beriladi. Kirishning xajmi bir betdan oshmasligi kerak.

Qisqacha nazariy qismda o'tkinchi jarayon, qisqa tutashuv va ish jarayonida qo'llanilayotgan boshqa asossiy tushuncha va farazlarning ta'riflari keltiriladi, analitik va amaliy hisoblash usullarining qisqacha mazmuni yoritiladi.

Asosiy qism tarkibi:

1) hisobiy elektr sistema; 2) elektr sistema ekvivalent almashish sxemasi va uning elementlari parametrlarini hisoblash; 3) analitik usulda uch fazali QT toklarini aniq hisobini bajarish; 4) hisobiy egri chiziqlar usulida simmetrik QT ni tahminiy hisobini bajarish kiradi.

Hulosa qismida bajarilgan ish natijalari bo'yicha qisqacha hulosalar beriladi.

Ilovalarda qo'llanilgan qisqartirishlar, elementlarning ekvivalent sxemalari, ekvivalent o'zgartirishlar va x.k.lar keltiriladi.

Adabiyotlar ro'yxati – undan qo'chirilgan, ishda ko'rilgan va ko'rsatib o'tilgan informatsiya manbalarining ro'yxati. Matnda adabiyotga dalil qilish ikkita to'rtburchak qavs ichida adabiyotlar ro'yxatidagi raqamlar yozilib, bajariladi, masalan, [1, 4].

Tushuntirish xati mazkur uslubiy ko'rsatmaga ko'ra shakllantirilishi, chizma va sxemalar standartlar talablariga ko'ra bajarilishi lozim.

2. Qisqacha nazariy ma'lumotlar

2.1 Elektromagnit o'tkinchi jarayonlar va qisqa tutashuvlar

Elektr sistema “O'tkinchi jarayonlar” fanida o'rganiladigan asosiy ob'ekt hisoblanadi. Elektr sistema (ES) – elektr energetik sistemaning (EES) shartli ravishda ajratilgan qismi bo'lib, uning elementlari elektr energiyani ishlab chiqish (generatsiya qilish), o'zgartirish, uzatish va ist'emol qilish yagona jarayoni bilan birlashgan.

Har qanday vaqt momenti uchun elektr sistema holati uning rejimi bilan aniqlanadi. Sistema rejimi rejim parametrlari bilan xarakterlanadi. Rejim parametrlariga sistemaning holatini aniqlovchi va sistema holati o'zgarganda o'zgaruvchi quvvat (P , Q), kuchlanish (U), tok (I), chastota (f) kabi parametrlar kiradi. Rejim parametrlari sistema parametrlari deb ataluvchi va elementning fizik xususiyatlari bilan aniqlanuvchi (qarshilik, utkazuvchanlik, vaqt doimiysi, sistema elementlarining koeffitsientlari kabi) kattaliklar bilan bog'langan [1-10].

Elektr sistema rejimlari amalda o'zgaras parametrlarga ega bo'lgan turg'un rejim va rejim parametrlari tez o'zgaradigan o'tkinchi rejimlarga bo'linishi mumkin.

Bitta rejimdan ikkinchi rejimga o'tishda o'tkinchi rejimlar (O'R) hosil bo'ladi. Elektr sistemalarda o'tkinchi jarayonlar normal faoliyatda yoki avariya paytida sodir bo'ladi.

Umuman o'tkinchi jarayonlar elektromagnit va mexanik parametrlar o'zgarishi bilan xarakterlanadi va shartli ravishda to'liqiniy, elektromagnit va elektromexanik o'tkinchi jarayonlarga bo'linadi.

To'liqinsimon o'tkinchi jarayonlarda elektr sistemaning elektr holati lokal ravishda o'zgaradi, ya'ni elektr uzatish liniyalarida. Ular ichki kommutatsiya, momaqaldiroq va boshqa o'ta kuchlanishlar bilan bog'liq. Mexanik o'zgarishlar ushbu jarayonga ta'sir etmaydi. Jarayon tez o'tuvchi bo'lib, parametrlarning o'zgarish tezligi – 10^3 - 10^8 Gs ga yetadi.

Elektromexanik o'tkinchi jarayonlarda elektr hamda mexanik parametrlarning o'zgarishi kuzatiladi. Generator, turbina, motorlarning aylanish tezliklarining o'zgarishi sezilarli darajada ta'sir etadi. Jarayon past chastotali bo'lib, o'zgarish tezligi – 10 -50 Gs va undan kichikroq bo'ladi.

Elektromagnit o'tkinchi jarayonlarda elektr sistema elementlarining elektromagnit holati o'zgaradi. Bu yerda faqat tok va kuchlanishlar o'zgarishi k'oriladi, ya'ni rejimning mexanik parametrlari (masalan, sinxron generator rotorlarini aylanish tezligi) o'zgaras deb faraz qilinadi. O'tkinchi jarayon 50 - 150 Gs tezlikda o'tadi [1,5,6].

QT eng ko'p tarqalgan va eng og'ir kechadigan elektromagnit o'tkinchi jarayonlardir hamda ularning paydo bo'lishiga asosiy sabab hisoblanadi.

Qisqa tutashuv (QT) – bu normal sharoitlarda ko'zda tutilmagan fazalarni yerga (neytral simga) yoki o'zaro tutashishidir. Qisqa tutashuvda zanjir qarshiligi kamayadi, bu esa sistemadagi toklarni keskin oshishiga va kuchlanishlarni pasayishiga olib keladi.

Qisqa tutashuv bo'lgan joyda o'tkinchi qarshilik hosil bo'ladi. Bu qarshilik asosan aktiv xarakterga ega bo'lgan elektr yoyi qarshiligi bilan aniqlanadi. Eng katta toklar “metallik” tutashuv deb nomlanadigan va o'tkinchi qarshiligi nolga teng deb qabul qilinadigan chegaraviy holda bo'ladi.

Uch fazali sistemalarda quyidagi QT turlarini [2,3] ajratish mumkin:

- uch fazali QT – $K^{(3)}$ (sodir bo'lish extimolligi tahminan 5%), simmetrik QT hisoblanadi;
- ikki fazali QT – $K^{(2)}$ ($\approx 10\%$), tez-tez ikki fazali yerga bo'lgan QT ga o'tadi;
- ikki fazali yerga QT – $K^{(1,1)}$ ($\approx 20\%$);
- bir fazali QT – $K^{(1)}$ ($\approx 65\%$). Oxirgi uchta QT nosimmetrikdir.

Neytral nuqtasi izolyatsiya qilingan sistemaning bitta fazasi yerga tutashsa, bunday tutashuv oddiy tutashuv deb nomlanadi (qisqa tutashuvlarga kirmaydi).

Eng sodda uch fazali qisqa tutashuv jarayonini o'rganish keyinchalik metodikani boshqa tur shikastlanishlariga qo'llashga imkon beradi.

Keng ma'noda QT ko'rinishidagi shikastlanishlar ko'ndalang simmetrik bo'lmagan turga kiritilishi mumkin, sim uzilishi yoki bitta faza o'chirilishi esa bo'ylama nosimmetriya deyiladi [4].

Qisqa tutashuvning o'tkinchi jarayonini hisoblash deb, odatda berilgan shartlarda ko'rilayotgan elektr energetik sistema sxemasida tok va kuchlanishlarni hisoblash tushiniladi. Bunday hisoblarni maqsadiga ko'ra tok va kuchlanishlar qiymatlari berilgan vaqt momenti uchun yoki ularni butun o'tkinchi jarayon davomida o'zgarishi aniqlanadi.

Elektr sistema, shu jumladan, elektrlashtirilgan temir yo'l transporti elektr ta'minoti sistemasidagi QT toklar va qoldiq kuchlanishlarni hisoblash quyidagilar uchun kerak bo'ladi:

- QT shartlari bo'yicha elektr qurilmalarni tekshirish va tanlash;
- releli himoyaning o'rnatmalarini tanlash hamda ushbu himoyaning va avtomatikaning mumkin bo'lgan harakatlarini baholash;
- elektr energetik sistema ishining turg'unligini tahlil qilish;
- elektr uzatish liniyalaridan o'tuvchi nolinchi ketma-ketlik toklarining aloqa liniyalarga ta'sirini aniqlash;
- zamin (yer)lovchi qurilmalarni tanlash.

Elektr qurilmalarda QT larni hosil bo'lishi har xil sabablarga ko'ra ularning izolyatsiyasi buzilishi tufayli bo'ladi. Ya'ni izolyatsiya materiali eskirishi yoki yemirilishi, o'ta kuchlanishlar tufayli izolyatsiya buzilishi, mexanik shikastlanishlar, izolyatsiyaga sifatsiz qaralishi, tok o'tkazgich qismlarini hayvon va qushlar tomondan qoplanishi; o'chirish va yoqishlarni bajarishda personal tomonidan yo'l qo'yilgan xatolar va boshqa sabablarga ko'ra sodir bo'ladi.

Qisqa tutashuvlarning oqibatlarini va ularning oldini olish usullari

1. Qisqa tutashuvlarda toklarning oshib ketishi quyidagilarga olib keladi [2]:
 - qizishga, shuning uchun asbob-uskunalarini ularning termik (issiqlik) bardoshligini inobatga olgan holda tanlash lozim;
 - katta kuchlarga, shuning uchun asbob-uskunalarini ularning elektrdinamik bardoshligini inobatga olgan holda tanlash lozim;
2. Qisqa tutashuvda kuchlanishning kamayishi yuklama motorlarini to'xtalishiga olib kelishi mumkin, shuning uchun kuchlanish kamayishini kuzatuvchi avtomatik uskunalarini o'rnatish lozim.
3. Qisqa tutashuvlar va ularning oqibatlarini oldini olish uchun quyidagi choralar qo'llaniladi [2]:
 - himoya vositalarini qo'llash (releli himoya, chulg'amlari tolalangan transformatorlar, elektr tarmoqlarda katta induktivlikka ega bo'lgan oddiy va tok cheklovchi ikkilangan reaktorlar);
 - eng kichik qisqa tutashuv toklari bo'ladigan tarmoqning ratsional sxemasini tanlash (tarmoqlarni seksiyalash).

Asosiy hisobiy farazlar va tushunchalar

Elektr sistemada QT toklarini hisoblashda barcha shart va omillarni inobatga olish juda murakkab, ko'p mehnat talab qiladigan va faqat zamonaviy kompyuter programmalari yordamida yechiladigan masaladir.

Ko'pgina amaliy masalalarni yechish (uskunalarini tanlash, releli himo-yaning o'rnatmalarini hisoblash) uchun QT toklarining aniq qiymatlari ta-lab etilmaydi, ammo hisoblash operatsiyalarini soddalashtirish va qisqarti-rish lozim bo'ladi. Buning uchun taqribiy hisoblash usullari ishlab chiqil-gan. Ayrim farazlarni qabul qilib, katta darajadagi soddalashtirish va qisqartirishlarga erishiladi, ya'ni QT toklarni hisoblashda quyidagilar qabul qilinadi:

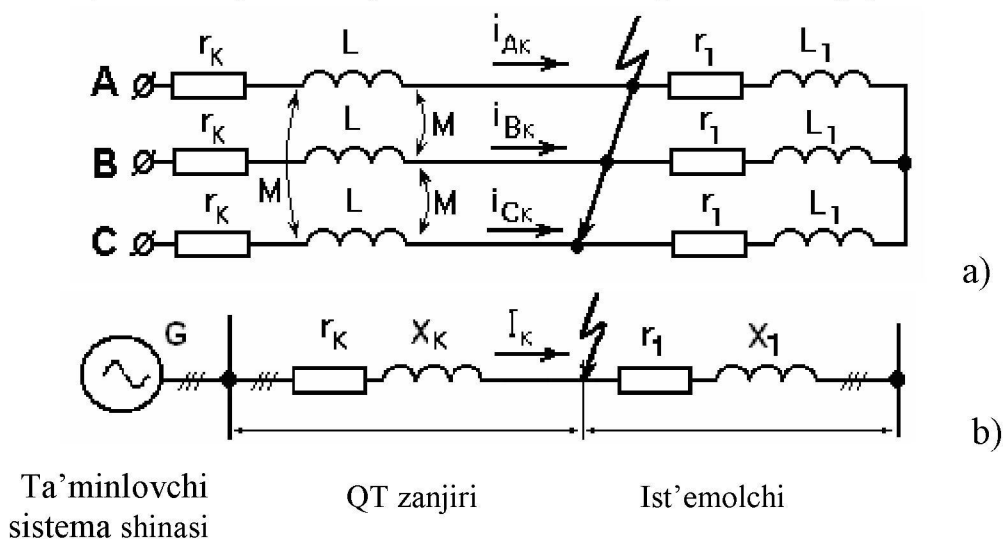
- 1) elektr mashina (generator, elektr motor, transformator) larning po'lat o'zaklarida to'yinish mavjud emas deb hisoblanadi, ya'ni barcha sxema-lar chiziqli deb olinib, ustma ustlash usulini qo'llash mumkin bo'ladi;

- 2) transformator va avtotransformatorlarning magnitlash toklari inobatga olinmaydi;
- 3) uch fazali tarmoq simmetriyasini (fazalar qarshiliklari bir biriga teng) saqlaydi, nosimmetriya faqat QT nuqtasida vujudga keladi deb qabul qilinadi;
- 4) kuchlanishi 220 kV gacha bo'lgan havo va kabel tarmoqlarda sig'im va sig'im toklari inobatga olinmaydi (bo'ylama sig'imi kompensatsiya uskunalari bo'lmaganda);
- 5) kuchlanishi 1 kV dan ortiq bo'lgan tarmoqlarda generator, transformator, reaktorlarning aktiv qarshiliklari hisobga olinmaydi (vaqt doimiysini aniqlashdan tashqari);
- 6) yuklama o'zgarmas induktiv qarshilik yoki o'zgarmas qarshilikli EYUK manba ko'rinishda taqriban hisobga olinadi yoki umuman hisobga olinmaydi;
- 7) hisobiy sxemaga kiruvchi har xil EYUK manbalari orasidagi faza siljishlari hamda sinxron generatorlar, kompensatorlar va elektr motorlar chastotasi o'zgarishi hisobga olinmaydi.

Yuqorida keltirilgan farazlar katta xatoliklarga yo'l qo'ymasdan va hisoblarni ishonchligini kamaytirmasdan, ancha sodda va tejamli hisoblash usullarini qo'llashga imkon beradi.

2.2 Uch fazali qisqa tutashuv tokining tashkil etuvchilari va zarbiy tok

Uch fazali qisqa tutashuv $K^{(3)}$ sodir bo'lgan eng sodda elektr sistemani ko'ramiz (2.1-rasm). Zanjirda elektromagnit energiyani to'plash



2.1-rasm. Uch fazali elektr zanjirda eng soda QT ($K^{(3)}$): a) fazalar o'rtasida o'zaro induktivliklar bo'lganda; b) xuddi shu zanjir o'zaro induktivliklari bo'lmagan va bir chiziqli sxema bilan tasvirlanganda.

qobiliyatiga ega bo'lgan elementlar mavjud bo'lib, QT da energiyani qayta taqsimlanishi yuz beradi va natijada o'tkinchi jarayon tokining oniy qiymati turg'un tokdan ancha oshib ketishi mumkin (2.2-rasm).

QT shartli ravishda sxemani ikkita mustaqil simmetrik qismlarga bo'ladi, bunda qisqa tutashuv nuqtasida kuchlanish nolga teng bo'ladi. Sinusoidal kuchlanish manbaga (masalan, A faza kuchlanishi – $u_A = U_{Am} \sin(\omega t + \alpha)$) ulangan chap qismining A fazasi uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha tuzilgan differensial tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$i_{Ak} r_k + L \frac{di_{Ak}}{dt} + M \frac{di_{Bk}}{dt} + M \frac{di_{Ck}}{dt} = u_A \quad (2.1)$$

va $i_A = -(i_B + i_C)$ shartni hisobga olgan holda:

$$i_{Ak} r_k + L_k \frac{di_{Ak}}{dt} = u_A, \quad (2.2)$$

bu yerda: $L_k = L - M$ – QT zanjirining induktivligi.

(2.2) tenglama birinchi darajali bir jinsli bo'lmagan differensial tenglamadir. Uning yechimi ikkita yechimning yig'indisi deb olinadi:

- bir jinsli bo'lmagan differensial tenglamaning xususiy yechimi (majburiy tok, ya'ni QT tokining periodik tashkil etuvchisi – i_p),
- bir jinsli bo'lgan differensial tenglamaning umumiy yechimi (erkin tok, ya'ni QT tokining aperiodik tashkil etuvchisi – i_a),

Unda o'tkinchi jarayon paytida A fazadagi QT ning to'la toki periodik va aperiodik tashkil etuvchilarning yig'indisi deb ifodalanishi mumkin:

$$i_{Ak} = i_p + i_a = (U_{Am} / Z_k) \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + i_a(0) \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}, \quad (2.3)$$

bu yerda: $Z_k = \sqrt{r_k^2 + X_k^2}$ – manbaga ulangan zanjir uchastkasining to'la qarshiligi;

α – ulanish fazasi;

φ_k – tok siljish burchagi;

$T_a = \frac{L_k}{r_k} = \frac{X_k}{\omega r_k}$ – QT zanjirining vaqt doimiysi, (s).

Tokning aperiodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati $t=0$ vaqt momenti uchun quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$i_a(0) = I_m \cdot \sin(\alpha - \varphi) - I_{pm} \cdot \sin(\alpha - \varphi_k), \quad (2.4)$$

bu yerda: $I_m \cdot \sin(\alpha - \varphi) = i_{An}(0)$ – normal (QT gacha) rejimda A faza tokining o'tkinchi jarayon boshlanish momentidagi qiymati;

$I_{pm} \cdot \sin(\alpha - \varphi_k) = i_p(0)$ – QT tokining periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati.

Oldingi tokning ulanish fazasiga ko'ra QT tokning aperiodik tashkil etuvchisi maksimumdan nolgacha o'zgarishi mumkin. QT gacha zanjir yuklanmagan (salt ishlash rejimda bo'lgan) deb shart qabul qilinsa, QT tokning aperiodik tashkil etuvchisi $\alpha - \varphi_k = 0$ bo'lganda bitta fazada butunlay yo'q bo'lishi (lekin boshqa ikkita fazada albatta bo'ladi) yoki $\alpha - \varphi_k = \pm \pi/2$ bo'lganda maksimumga erishishi mumkin.

Induktivligi katta bo'lgan zanjirlarda ($X_k \gg r_k$) $\varphi_k \approx \pi/2$, $\alpha = 0$, ya'ni QT boshlanganda manba kuchlanishi noldan o'tadi (2.2-rasm). Bu holda aperiodik tashkil etuvchining boshlang'ich qiymati va periodik tashkil etuvchining boshlang'ich qiymati periodik tashkil etuvchining amplitudasiga yetishi mumkin. Bu rejimda zarbiy tok i_{zrb} deb ataluvchi, to'la tokning maksimal oniy qiymatini aniqlash muhimdir.

Faraz qilamiz $\alpha - \varphi_k = -\pi/2$, unda

$$i_k(t) = I_{pm} \cdot \sin(\omega t - \pi/2) - I_{pm} \cdot e^{-t/T_a} . \quad (2.5)$$

Ikkinchi qo'shmani o'zgarimas deb olsak, $\sin(\omega t - \pi/2) = 1$ yoki $t = \pi / \omega = 1/2f = T/2$, ya'ni $f = 50$ Gs uchun $t = 0,01$ sekunda QT ning to'la toki maksimumga erishadi.

Demak zarbiy tok:

$$i_{zrb} = I_{pm} + I_{pm} e^{\frac{0,01}{T_a}} = k_{zrb} I_{pm} , \quad (2.6)$$

$$1 < k_{zrb} < 2 \quad (2.7)$$

bu yerda: $k_{zrb} = 1 + e^{\frac{0,01}{T_a}}$ – zarbiy koeffitsient – to'la tokning maksimal oniy qiymati QT tokining periodik tashkil etuvchisi amplitudasiga nisbatan oshishini aniqlaydigan qiymat. Amalda yuqori kuchlanishli liniyalarda $k_{zrb} \rightarrow 1,1 \div 1,8$.

2.2-rasmda uch fazali elektr zanjirning bitta (bu yerda A) fazasida kuchlanishining oniy qiymati nolga teng bo'lganda, elektr uskuna normal ishi rejimdan QT rejimiga o'tishi momenti ko'rsatilgan.

Vektor diagrammadagi belgilanishlar: $\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$ – normal rejim faza toklari amplituda qiymatlarining vektorlari, $\underline{I}_{kA}, \underline{I}_{kB}, \underline{I}_{kC}$ – QT fazaviy toklar amplituda qiymatlarining vektorlari, φ va φ_k – mos ravishda normal rejim va QT rejimlaridagi fazaviy tok va kuchlanishlar orasidagi faza siljishlar. Ushbu momentda eng og'ir ahvol A faza bo'lib, faqat uning toki uchun vaqt diagrammasi keltirilgan. Vektor va vaqt diagrammalari birgalikda ko'riladi.

Demak QT tokining qiymati QT joyini ta'minlovchi manba quvvatlariga; manbalarning QT joyidan elektrik uzoqligiga, ya'ni manba

va QT nuqtasi orasida ulangan elementlar qarshiliklari qiymatiga; QT turiga; QT sodir bo'lgan momentidan o'tgan vaqtga va shu momentdagi kuchlanish fazasiga bog'liqdir.

O'tkinchi jarayon o'zgaras kuchlanishli shinalar (sistema) tomonidan ta'minlangan holda tokning aperiodik tashkil etuvchisi so'ngandan keyin tugaydi, undan keyin QT to'la tok amplitudasi o'zgaras bo'lgan periodik tashkil etuvchisiga teng bo'ladi.

Umumiy holda I_{pm} o'zgarishi mumkin, shuning uchun hisoblarda uning boshlang'ich qiymatini olish kerak. Boshlang'ich momentda generatorlar, motorlar, tugunlardagi umumlashgan yuklamalar o'tao'tkinchi qarshilik X'' va o'tao'tkinchi elektr yurituvchi kuch (EYUK) bilan tavsiflanadi. O'tao'tkinchi EYUKning ta'sir etuvchi fazaviy qiymati E'' bilan belgilanadi. Shunga mos ravishda qisqa tutashuv tokining davriy tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati o'tao'tkinchi tok I_p'' deb ataladi. O'tao'tkinchi tokning maksimal qiymatini I_{pm}'' bilan belgilab, uning birinchi davrdagi ta'sir etuvchi qiymat esa I_k'' kabi belgilanadi. U holda $I_k'' = I_{pm}'' / \sqrt{2}$ deb, (2.6) da almashtirsak:

$$i_{zrb} = k_{zrb} \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (2.8)$$

To'la tokning egri chizig'i nosinusoidal funktsiya bo'lganligi uchun QT ning xohlagan t momenti uchun QT to'la tokining effektiv qiymati 0,02 sek davrdagi o'rtacha kvadratik toki deb aniqlanadi:

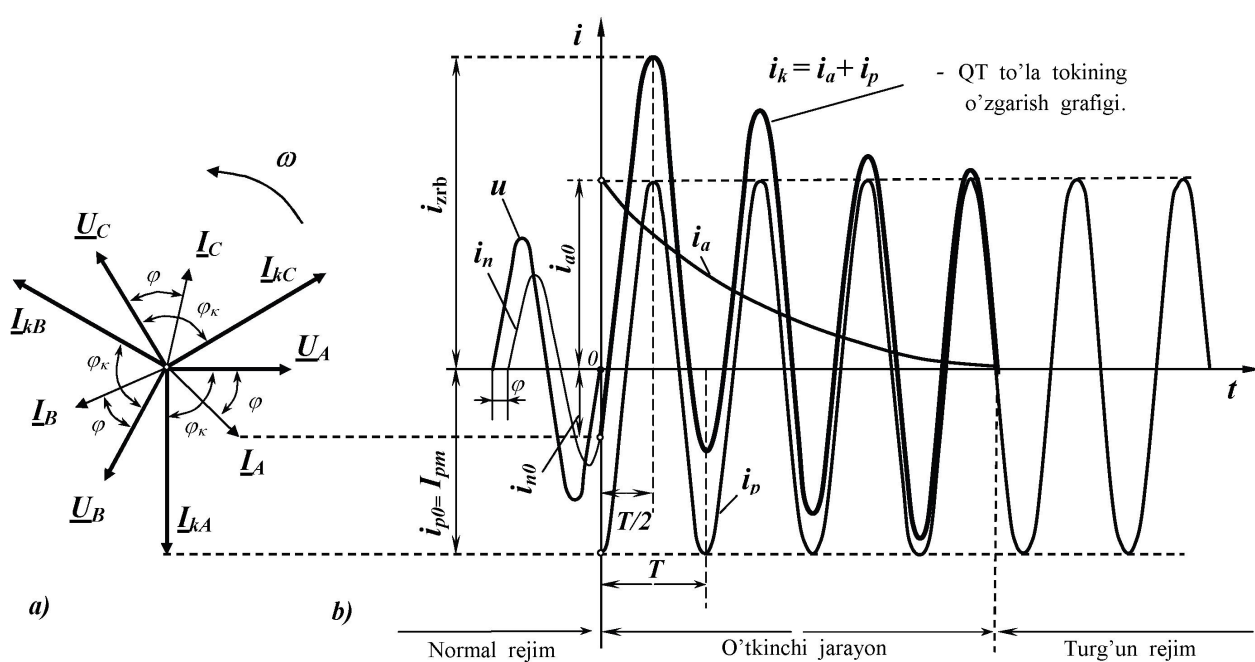
$$I_{\kappa,t} = \sqrt{I_{p,t}^2 + I_{a,t}^2}, \quad (2.9)$$

bu yerda: $I_{p,t} = I_{p,0} = I_{pm} / \sqrt{2} = \text{const}$ – periodik tashkil etuvchisining ta'sir etuvchi qiymati;

$I_{a,t} = i_{a,t}$ – aperiodik tashkil etuvchisining ta'sir etuvchi qiymati.

Qisqa tuashuv to'la tokining maksimal ta'sir etuvchi qiymati (zarbiy) o'tkinchi jarayonning birinchi davri davomida mavjud bo'ladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{zrb} = I_k'' \sqrt{1 + 2(k_{zrb} - 1)^2} \quad (2.10)$$



2.2-rasm. Cheksiz quvvatli manbadan ta'minlangan zanjirda QT tokining o'zgarish diagrammalari: vektor (a) va vaqt (b).

2.3 Elektr sistemaning hisobiy va almashish sxemalari

QT tokini hisoblash maqsadi (apparaturasini tanlash yoki tekshirish, rele himoyalash qurilmalarini hisoblash, elektr uzatish liniyalarini va nimstansiyalarni momaqaldiraqdan himoya qilish uchun razryadsizlantirish qurilmalarini tanlash, avariya uzilishlarini tahlil qilish) ga qarab boshlang'ich shartlar aniqlanadi. Bu esa tarmoqning hisobiy sxemasini; QT rejimlarini; QT turini ($K^{(3)}$, $K^{(2)}$, $K^{(1,1)}$, $K^{(1)}$); QT nuqtalarini joylashishini va QT vaqtini tanlash demakdir.

Hisobiy sxema

Ko'rilyotgan elektr sistemada qisqa tutashuv toklarini hisoblash uchun hisobiy sxema tuziladi. Tarmoqning hisobiy sxemasi soddalashtirilgan bir liniyalı sxema bilan ifodalanib, unda ta'minlash manba(sistema, generator)lar va manbalarni QT nuqtalari bilan bog'lovchi tarmoq elementlari (elektr uzatish liniyalar, transformatorlar, reaktorlar) hamda yuqorida ko'rsatilgan barcha elementlarning QT tokiga ta'sir etadigan parametrlari ko'rsatiladi.

Kuchlanishi 1000 V dan katta bo'lgan elektromotorlar bevosita QT nuqtasi bilan ulangan bo'lsa yoki kabel liniyasi tok o'tkazgich yoki chiziqli reaktorlar orqali ulangan bo'lsa, hisobiy sxemaga ko'shimcha generator manbai sifatida kiritiladi.

QT rejimlari

Qo'yilgan masala bo'yicha QT toki nafaqat uning maksimal qiymati, balki QT joyida uning minimal toki, tarmoqning har xil nuqtalarida qoldiq kuchlanishlarni aniqlash kerak bo'ladi. Buning uchun hisobiy sxema tadqiq qilinib, unga qanday qo'shimcha elementlar qo'shilishi hal qilinadi. Hisobiy sxema bilan bunday dastlabki ishlash hisobiy rejimni tanlash deyiladi.

Agar hisobiy sxema tarmoqning normal ish sharoitlari uchun tuzilmasi bo'lsa, unda QT ni hisoblashning boshlang'ich (dastlabki) rejimi normal rejim deyiladi.

QT nuqtasining joylashishi elektr uskunalarni chidamlilikka tekshirishda ularni shunday joylashtirish kerakki, ular eng og'ir sharoitda bo'lishi kerak. Relelar uchastkaning boshi yoki oxirida joylashadi.

QT vaqti. Butunlay hisoblash xarakteriga bog'liq. Masalan relelarni hisoblashda faqat boshlang'ich moment hisobga olinadi.

Ekvivalent almashish sxema

QT toklarni hisoblash uchun hisobiy sxemasi bo'yicha ekvivalent almashish sxemalar tuziladi. Bunda barcha hisobiy sxema elementlari o'zlarining almashish sxemalari (3-ilova, 1-jadval) bilan almashtiriladi va

ularning elektr qarshiliklari hamda manbalar uchun EYUK qiymatlari ko'rsatiladi.

Elektr uzatish liniyaning to'la qarshiligi $Z = \sqrt{r^2 + x^2}$ sxemada r ; x ko'rinishda yoziladi. Qarshiliklar kasr ko'rinishida yoziladi:

$$\frac{2}{0,38} \quad \begin{array}{l} \leftarrow \text{element tartib raqami} \\ \leftarrow \text{qarshilik qiymati} \end{array}$$

Magnit bog'langan zanjirli elementlar – transformatorlar – o'zining ekvivalent elektrik qarshiliklari bilan kiritiladi.

Ko'p hollarda tarmoq sxemasi bir yoki bir necha transformatsiya pog'onasidan iborat. Ekvivalent almashlash sxemasini qurish uchun transformatsiyaning asosiy yoki bazaviy pog'onasi tanlanadi va qolgan pog'onalaridagi elektr qiymatlari asosiy pog'ona kuchlanishiga keltiriladi.

Keltirish uchun ma'lum ifodalar qo'llaniladi:

$$\overset{\circ}{E} = \overset{\circ}{E}(k_1 k_2 \dots k_n); \quad \overset{\circ}{U} = \overset{\circ}{U}(k_1 k_2 \dots k_n) \quad (2.10)$$

$$\overset{\circ}{I} = \overset{\circ}{I} / (k_1 k_2 \dots k_n) . \quad (2.11)$$

Om qonuni va (2.10), (2.11) asosida keltirilgan qarshiliklar:

$$\begin{aligned} \overset{\circ}{Z} &= Z(k_1 k_2 \dots k_n)^2; \\ \overset{\circ}{X} &= X(k_1 k_2 \dots k_n)^2; \\ \overset{\circ}{R} &= R(k_1 k_2 \dots k_n)^2. \end{aligned} \quad (2.12)$$

(2.10), (2.12) formulalarda ketma-ket ulangan transformatorlarning transformatsiya koeffitsientlari $k_1 k_2 \dots k_n$ qatnashadi. Ushbu koeffitsientlar asosiy pog'onadan boshlab, ko'rilyotgan pog'ona tomoniga qarab aniqlanadi.

Taxminiy amaliy hisoblar uchun haqiqiy transformatsiya koeffitsientlarini hamda almashlash sxema elementlarining nominal kuchlanishlarini quyidagi o'rtacha nominal kuchlanishlar shkalasi bo'yicha almashtirish tavsiya etiladi (kV):

515;	340;	<u>230;</u>	154;	<u>115;</u>	<u>37;</u>	24;	20;	18;	<u>15,75;</u>
13,8	<u>10,5;</u>	<u>6,3;</u>	<u>3,15;</u>	0,69;	<u>0,525;</u>	04;	0,23;	0,127.	

Nominal kuchlanishlar o'rtacha qiymatlar bilan almashtirilgandan keyin, qiymatlarni asosiy pog'onaga keltirish ancha soddalashtiriladi hamda hisoblash formulalari quyidagi ko'rinishga keladi:

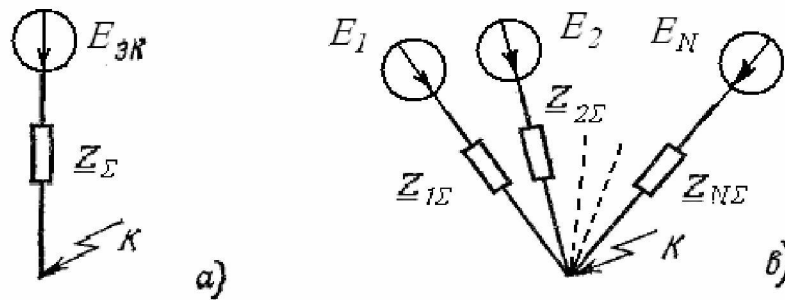
$$\overset{\circ}{E} = \overset{\circ}{E} \frac{U_{o'r,b}}{U_{o'r}}; \quad \overset{\circ}{U} = \overset{\circ}{U} \frac{U_{o'r,b}}{U_{o'r}}; \quad (2.13)$$

$$\dot{I} = \dot{I} \frac{U_{o'r}}{U_{o'r,b}}; \quad (2.14)$$

$$\dot{Z} = Z \left(\frac{U_{o'r,b}}{U_{o'r}} \right)^2; \quad \dot{X} = X \left(\frac{U_{o'r,b}}{U_{o'r}} \right)^2; \quad \dot{R} = R \left(\frac{U_{o'r,b}}{U_{o'r}} \right)^2. \quad (2.15)$$

(2.10)–(2.12) ifodalarda oraliq pog'onalaridagi transformatsiya koeffitsientlari qisqarib ketadi va (2.13)–(2.15) formulalarda faqat asosiy (bazis) pog'ona o'rtacha kuchlanishining ko'rilayotgan pog'ona o'rtacha kuchlanishiga nisbati qoladi.

Ekvivalent almashish sxemada EYUK va qarshiliklar bazaviy pog'onaga keltirilgandan so'ng, almashish sxemasi ekvivalent o'zgartirishlarni bajarib, soddalashtiriladi va QT nuqtasi tomoniga qisqartiriladi (yig'ishtiriladi). EYUK berilgan nuqtalar birlashadi va sxemaning EYUKsi ekvivalent E_{ek} bilan almashtiriladi, sxema qarshiliklari ketma-ket parallel qo'shilib, uchburchakdan yulduzga yoki aksincha aylantirilib, summaviy yoki natijaviy qarshilik (Z_Σ yoki X_Σ)ga keltiriladi (2.3-rasm).



2.3-rasm. Almashish sxemani bitta (a) yoki bir necha (b, radial sxema) natijaviy shoxobchaga keltirib soddalashtirish.

Om qonuniga va QT turiga qarab, qo'shimcha shartlar asosida QT nuqtasida natijaviy (umumiy) tok aniqlanadi.

Boshqa shaxobchalardagi toklarni aniqlash uchun sxemani teskari tomonga ochib hisoblash kerak. Toklar faqat asosiy transformatsiya pog'onasida haqiqiy qiymatga ega. Qolgan pog'onalaridagi toklarni hisoblash uchun (2.14) formuladan foydalanish zarur.

Ekvivalent o'zgartirishlar

Uchta qarshilik ketma-ket ulanganda ekvivalent o'zgartirish:

$$X_{ek} = X_1 + X_2 + X_3. \quad (2.16)$$

Uchta yoki ikkita qarshilik parallel ulanganda ekvivalent o'zgartirish:

$$X_{ek} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}} = \frac{X_1 X_2 X_3}{X_2 X_3 + X_1 X_3 + X_1 X_2}; \quad X_{ek} = \frac{X_1 X_2}{X_2 + X_1}. \quad (2.17)$$

Uchburchak ulanishdan ekvivalent yulduzchaga o'tishda o'zgartirish:

$$X_1 = \frac{X_{12}X_{31}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}; \quad X_2 = \frac{X_{23}X_{12}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}; \quad X_3 = \frac{X_{31}X_{23}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}. \quad (2.18)$$

Yulduzcha ulanishdan ekvivalent uchburchakka o'tishda o'zgartirish:

$$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_{12}}{X_3}; \quad X_{23} = X_2 + X_3 + \frac{X_{23}}{X_1}; \quad X_{31} = X_3 + X_1 + \frac{X_{31}}{X_2}. \quad (2.19)$$

Ko'p nurli yulduzchani to'la ko'pburchakka o'zgartirish (n=4 holda):

$$X_{12} = X_1 \cdot X_2 \cdot \sum Y; \quad X_{23} = X_2 \cdot X_3 \cdot \sum Y; \quad \dots\dots\dots \\ X_{24} = X_2 \cdot X_4 \cdot \sum Y \quad \text{bunda} \quad \sum Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4. \quad (2.20)$$

n kattaroq bo'lgan hollarda ham ko'p nurli yulduzchani to'la ko'pburchakka aylantirish shunga o'xshash bajariladi.

2.3,b-rasmda ikkita shoxobcha bo'lsa 2.3,a-rasmga keltirish uchun uning qarshiliklari parallel deb olinadi, ekvivalent EYUK si esa quyidagi formuladan topiladi:

$$E_{ek} = \frac{E_1Y_1 + E_2Y_2}{Y_1 + Y_2}; \quad Y_1 = \frac{1}{Z_1}; \quad Y_2 = \frac{1}{Z_2}; \quad Z_{\Sigma} = \frac{Z_1Z_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (2.21)$$

2.3,b-rasmdagi sxemada EYUK lar har xil bo'lganda ko'p hollarda ustma-ustlash usuli qo'llaniladi.

2.4 Nisbiy birliklar sistemasi

QT tokini hisoblash absolyut (nomli) yoki nisbiy birliklarda bajarilishi mumkin. Ma'lumki, pasport va kataloglarda elektr mashina va transformatorlarning qarshiliklari nisbiy birliklarda beriladi.

Nisbiy birliklarda hisoblashda barcha qiymatlar asosiy yoki bazis qiymatlar bilan solishtiriladi. Qiymatlarni nisbiy ko'rinishda ifodalash sxemaning bironta qismi yoki alohida elementini hisoblash natijasiga ta'sirini baholash uchun qulaydir.

Nisbiy birlikning asosiy afzalliklari quyidagilardir:

- hisoblashlar qiymati birga yaqin bo'lgan kattaliklar bilan olib boriladi va xatolik ehtimoli kamayadi, chunki birdan katta chetga og'ishlar darhol mumkin bo'lgan xatolikni bildiradi;
- bir o'lchov sistemasidan boshqa o'lchov sistemasiga o'tishga ehtiyoj qolmaydi (masalan, qo'zg'atish kuchlanishi va generator kuchlanishi nisbiy birlikda miqdor bo'yicha yaqin bo'lib, shu vaqtning o'zida ular nafaqat son, balki hususiyatlari – o'zgarmas va o'zgaruvchan kuchlanishligi bilan ham farq qiladi);
- induktiv qarshiliklar ekvivalent sxemalari, oqimlar va o'zinduksiya ekvivalent sxemalari turg'un va o'tkinchi holatlarda chastota o'zgarishi mumkin bo'lganda bir xil;

- oniy va amplituda qiymatlari bir xil son bilan ifodalanadi, shuning uchun oniy va amplituda qiymatlarini maxsus belgilashga ehtiyoj yo'qoladi;
- agar biz tok, kuchlanish, quvvat va qarshilikni ko'rayotgan bo'lsak, nisbiy birliklar sistemasida ulardan ikkitasi tanlanadi, qolgani esa ular yordamida topiladi.

Nisbiy birliklarda hisoblash uchun avval bazaviy qiymat yoki shartlar tanlanadi: quvvat S_b , kuchlanish U_b , tok I_b va qarshilik X_b yoki Z_b .

Odatda ikkita qiymat – S_b va U_b berilib, I_b va Z_b qiymatlar quvvat tenglamasi va Om qonunidan olinadi:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b}; \quad Z_b = \frac{U_b}{\sqrt{3} I_b}; \quad X_b = \frac{U_b}{\sqrt{3} I_b}. \quad (2.22)$$

Odatda baza kuchlanishi sifatida bironta transformator pog'onasidagi nominal kuchlanish U_{nom} yoki o'rtacha hisobiy kuchlanish $U_{o'r}$ qabul qilinadi.

Bazaviy quvvat tanlashda hisoblash natijasida olingan nisbiy qiymatlarning darajasi qulay bo'lishiga qaraladi. Ko'p hollarda 100 yoki 1000 MVA qabul qilinadi, agarda bironta qanday elementning nominal quvvati bir necha marotaba qaytarilsa, shu quvvat bazaviy sifatida olinadi.

Nisbiy qiymatlar quyidagicha ifodalanadi:

$$E_{*(b)} = \frac{E}{U_b}; \quad U_{*(b)} = \frac{U}{U_b}; \quad I_{*(b)} = \frac{I}{I_b}; \quad (2.23)$$

$$Z_{*(b)} = \frac{Z}{Z_b}; \quad X_{*(b)} = \frac{X}{Z_b}; \quad R_{*(b)} = \frac{R}{Z_b} \quad (2.24)$$

bu yerda indeksdagi $(*)$ – nisbiy birlikni;

(b) – qiymat bazaviy shartlarga keltirilganligini bildiradi.

Odatda (2.24) formulaga Z_b va X_b lar kiritilmaydi va kuchlanish, tok yoki quvvat orqali ifodalanadi:

$$Z_{*(b)} = Z \frac{\sqrt{3} I_b}{U_b} = Z \frac{S_b}{U_b^2}; \quad X_{*(b)} = X \frac{\sqrt{3} I_b}{U_b} = X \frac{S_b}{U_b^2} \quad (2.25)$$

Nisbiy bazaviy qarshilik undan bazaviy tok o'tganda sxemaga berilgan bazaviy kuchlanishning qanday qismi unda tushishini ko'rsatadi. Nisbiy qiymatni qabul qilingan bazaviy qiymatning ham bo'lagi, ham foizi bilan ifodalash mumkin, masalan $x \% = 100x$.

QTT larni nisbiy birliklarda hisoblashda ekvivalent almashlash sxemaning barcha qarshilik va EYUK lari bazaviy shartlarga keltiriladi.

Asosiy bazaviy pog'ona va qolgan transformatsiya pog'onalari uchun formulalar 3-ilovaning I3.2-jadvalida keltirilgan.

3. Uch fazali qisqa tutashuv toklarni nomli birliklarda analitik usulda hisoblash namunasi

3.1 Namunaviy masalaning dastlabki ma'lumotlari

Elektr sistemaning hisobiy sxemasi 3.1-rasmda keltirilgan. Uning elementlari parametrlari quyidagilardan iborat:

5-jadval

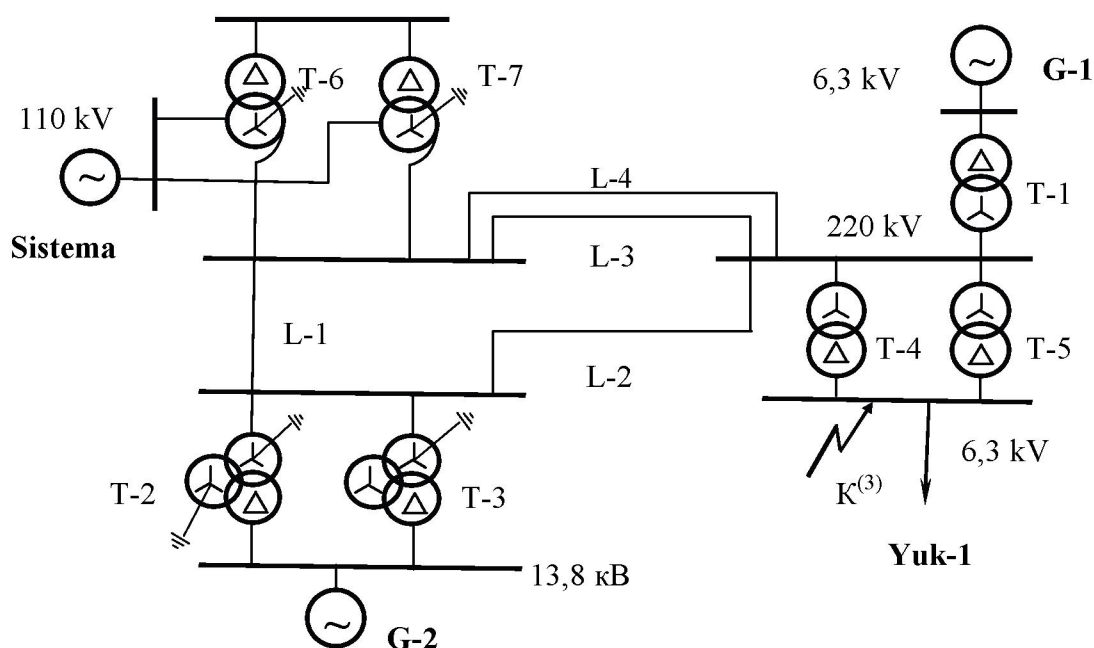
Variant №	Sxema manbalarining parametrlari										
	G-1				G-2				Sistema		
	Nominal quvvat, S_n (MVA)	Nominal kuchlanish, U_n (kV)	O'tao'tkinchi qarshilik, X_d (n.b.)	$\cos \varphi$	Nominal quvvat, S_n (MVA)	Nominal kuchlanish, U_n (kV)	O'tao'tkinchi qarshilik, X_d (n.b.)	$\cos \varphi$	Nominal quvvat, S_n (MVA)	To'g'ri ketma-ketlik qarshiligi, X_{is}	Nolinchi ketma-ketlik qarshiligi, X_{os}
	62,5	6,3	0,13	0,8	100	13,8	0,22	0,9	2500	0,3 n.b.	10 Om

6-jadval

Var. №	Sxemadagi belgilanish	Sxema transformatorlarining parametrlari						
		Nominal quvvat, S_n (MVA)	Chulg'am kuchlanishi (kV)			$U_k\%$		
			V (yuqori)	S (o'rta)	N (past)	V-S	V-N	S-N
	T-1	63	242	-	6,3	-	11	-
	T-2,3	63	242	121	13,8	12,5	24	10,5
	T-4,5	16	115	-	6,6	-	12	-
	T-6,7	250	230	121	11	10,5	22	9,5

7-jadval

Var. №	Havo elektr uzatish liniyalarining uzunligi			Yuklamaning nominal quvvati, S_n (MVA)
	L-1 (km)	L-2 (km)	L-3, L-4 (km)	
	150	120	100	22



3.1-rasm. Elektr sistemaning hisobiy sxemasi (namunaviy masala uchun).

3.2 Hisoblash tartibi va uslubiy ko'rsatmalar

1. Elektr sistemaning hisobiy sxemasi bo'yicha uning almashish sxemasi tuziladi. Buning uchun berilgan sxema (3.1-rasm) dan hisobiy sxemaga o'tib, unda o'zaro magnit bog'langan zanjir(transformator)larni bitta o'zaro elektr bog'langan ekvivalent zanjiriga almashtiramiz.
2. Quyida keltirilgan formulalar bo'yicha manbalarning EYUK lari va barcha elementlarning qarshiliklari aniqlanadi.
3. Qisqa tutashuv nuqtasini o'zgartirmay, sxemani qolgan qismini ekvivalent o'zgartirish usuliga ko'ra soddalashtiramiz va sxemaning natijaviy ekvivalent EYUK si hamda qarshiligi hisoblanadi.
4. Qisqa tutashuv tokning periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati (o'tao'tkinchi toki) quyidagicha topiladi:

$$I'' = \frac{E''_{\Sigma}}{X''_{\Sigma}}.$$

5. Zarbiy tok quyidagi formulaga ko'ra hisoblanadi:

$$i_{zrb} = \sqrt{2} \cdot K_{zrb} \cdot I''$$

bunda, $K_{zrb} \approx 1,8$ – zarbiy koeffitsient.

6. QT quvvati (MVA da) quyidagi formuladan topiladi:

$$S'' = \sqrt{3} U_{n.qt} \cdot I''$$

bunda, $U_{n.qt}$ – QT pog'onasidagi nominal kuchlanish, kV da.

Hisobiy va ekvivalent sxemalarini tuzish

Elementlarning parametrlarini nomli birliklarda ifodalab, berilgan printsiptial sxemasi bo'yicha elektr sistemaning qisqa tutashuv rejimidagi ekvivalent sxemasini tuzamiz (3.2-rasm). Bunda qisqa tutashuv nuqtasidagi kuchlanish pog'onasi (6,3 kV) ni asosiy (baza) qilib olamiz va ko'rilayotgan elementlarning parametrlarini asosiy pog'onaga keltiramiz, ya'ni ular orasidagi transformatorlarning transformatsiya koeffitsientlarini hisobga olamiz.

Ekvivalent sxemaning EYUK va qarshiliklarini hisoblash

Umumlashtirilgan yuklama tahminan quyidagi qiymatlar bilan hisobga olinadi: $E''_{yuk*} = 0,85$; $X_{yuk*} = 0,35$. Bu ifodalar yuklamaning nominal quvvati (MVA) va u ulangan pog'onaning o'rtacha nominal kuchlanishi uchun nisbiy birliklarda yozilgan.

O'tkinchi jarayonning boshlang'ich momentida generator va motorlarning o'tao'tkinchi qarshiliklari X''_d va EYUKlari E''_q bilan tavsiflanadi (3-ilova 13.3-jadval).

Transformatorlarning haqiqiy transformatsiya koeffitsientlari hisobga olinib (aniq keltirish bajarilib), ekvivalent sxema parametrlari nomli birliklarda quyidagi formulalar orqali hisoblanadi:

Generatorlar EYUK si

$$E_G = E''_{q*} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} (K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_m),$$

bu yerda:

E''_{q*} – generatorning o'tao'tkinchi EYUK si bo'lib, uning pasportidan olinadi yoki quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$E''_{q*} = \sqrt{(U_{0*} \cos \varphi_0)^2 + (U_{0*} \sin \varphi_0 + I_{0*} X''_d)^2},$$

bunda, $U_{0*} = 1$ va $I_{0*} = 1$ nisbiy birliklarda olingan;

$(K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_m)$ – asosiy pog'ona (QT nuqtasi) va elementi keltirilayotgan pog'ona orasida ulangan transformatorlarning transformatsiya koeffitsientlarining ko'paytmasi. Bunda koeffitsienlar asosiy pog'onadan ko'rilayotgan pog'onaga qarab aniqlanadi.

Generatorlar qarshiligi

$$X_G = X''_d \cdot \frac{U_n^2}{S_n} (K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_m)^2.$$

Transformatorlar qarshiligi

$$X_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} (K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_m)^2.$$

Ekvivalent sxemalarga uch chulg'amli transformatorlar va avtotransformatorlar uchta (yuqori, o'rta va past kuchlanish chulg'amlari) qarshiliklar bilan kiritiladi. Ushbu qarshiliklar yuqoridagi formuladan aniqlanadi. Bunda mos ravishda $U_{K\%}$ o'rniga quyidagi chulg'amlar kuchlanishlari qo'yiladi:

$$U_{KB} = 0,5(U_{KB-C} + U_{KB-H} - U_{KC-H});$$

$$U_{KC} = 0,5(U_{KB-C} + U_{KC-H} - U_{KB-H});$$

$$U_{KH} = 0,5(U_{KB-H} + U_{KC-H} - U_{KB-C}).$$

Elektr uzatish liniyalari (EUL) qarshiligi:

$$X_L = X_{sol} \cdot \ell \cdot (K_1 K_2 \dots K_n)^2$$

bunda, X_{sol} – EUL solishtirma qarshiligi;

ℓ – liniya uzunligi.

Agar qisqa tutashuv zanjirida aktiv qarshilik qiymati sezilarli bo'lsa, uni ham hisobga olish kerak.

3.3 Uch fazali qisqa tutashuvni analitik usulda hisoblash

Uch fazali qisqa tutashuv tokning periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich (o'tao'tkinchi tok) qiymatini hamda zarbiy tokni aniq keltirish usuli orqali bajarib, nomli birliklarda hisoblaymiz.

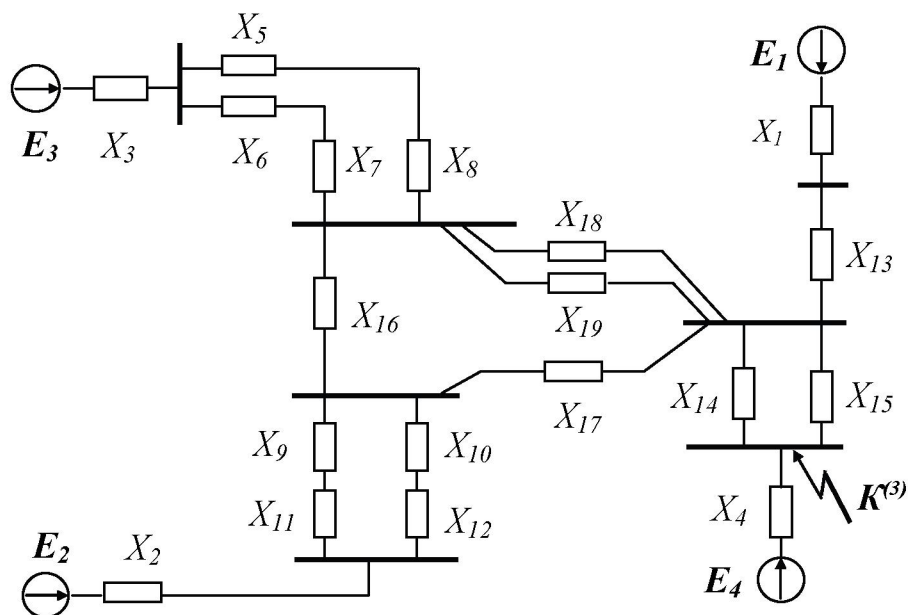
3.3.1 Ekvivalent almashish sxemasini tuzish

3.1-rasmda keltirilgan hisobiy prinsipial sxemaning har bir elementi o'zining ekvivalent sxemasi (3-ilova 13.1-jadval) bilan almashtirilib, uning ekvivalent sxemasini tuzamiz (3.2-rasm).

3.3.2 Ekvivalent sxemaning EYUK va qarshiliklarini hisoblash

Yuklama va ozuqa manbailarining EYUK larini aniqlash.

Generatorlarning EYUK sini hisoblash uchun ular avariyaqacha nominal rejimda ishlagan deb faraz qilamiz va ularning o'tao'tkinchi EYUK $E_q''^*$ larini hisoblaymiz.



3.2-rasm.

Generator G-1 va G-2 larning EYUK lari:

$$E_1 = E_{G-1} = E''_{q*1} \frac{U_n}{\sqrt{3}} K_{T-1} K_{T-4} = 1,083 \frac{6,3}{\sqrt{3}} \left(\frac{242}{230} \right) = 4,342 \text{ kV},$$

$$E_2 = E_{G-2} = E''_{q*2} \frac{U_n}{\sqrt{3}} K_{T-2} K_{T-4} = 1,114 \frac{13,8}{\sqrt{3}} \left(\frac{242}{13,8} \right) \left(\frac{6,6}{230} \right) = 4,465 \text{ kV},$$

bu yerda:

$$E''_{q*1} = \sqrt{(0,8)^2 + (0,6 + 0,13)^2} = 1,083 ;$$

$$E''_{q*2} = \sqrt{(\cos \varphi_H)^2 + (\sin \varphi_H + X''_d)^2} = \sqrt{(0,9)^2 + (0,44 + 0,22)^2} = 1,114.$$

Sistema EYUK si:

$$E_3 = E_S = E''_{S*} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot K_{T-6} \cdot K_{T-4} = 1,0 \cdot \frac{121}{\sqrt{3}} \left(\frac{230}{121} \right) \left(\frac{6,6}{230} \right) = 3,811 \text{ eV},$$

bu yerda: $E''_{S*} = 1,0$ – sistemaning o'tao'tkinchi EYUK si.

Yuklama EYUKi:

$$E_4 = E''_{yuk*} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} = 0,85 \frac{6,6}{\sqrt{3}} = 3,239 \text{ kV},$$

bu yerda: $E''_{yuk*} = 0,85$ – umumlashtirilgan yuklamaning o'tao'tkinchi EYUKi.

Sxema elementlarining qarshiliklarini aniqlash

Generator G-1 va G-2 larning qarshiliklari:

$$X_1 = X_d'' \cdot \frac{U_n^2}{S_n} (K_{T-4} \cdot K_{T-1})^2 = 0,13 \cdot \frac{6,3^2}{62,5} \left(\frac{6,6}{230} \cdot \frac{242}{6,3} \right)^2 = 0,1 \text{ Om},$$

$$X_2 = X_d'' \cdot \frac{U_n^2}{S_n} (K_{T-4} \cdot K_{T-2})^2 = 0,22 \cdot \frac{13,8^2}{100} \left(\frac{6,6}{230} \cdot \frac{242}{13,8} \right)^2 = 0,11 \text{ Om}.$$

Sistema qarshiligi:

$$X_3 = X_{s1} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} (K_{T-6} \cdot K_{T-4})^2 = 0,3 \cdot \frac{121^2}{2500} \left(\frac{230}{121} \cdot \frac{6,6}{230} \right)^2 = 0,0052 \text{ Om}.$$

Yuklama qarshiligi:

$$X_4 = X_{yuk*}'' \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = 0,35 \cdot \frac{6,6^2}{22} = 0,693 \text{ Om}.$$

Avtotransformator T-6,7 larning qarshiliklari:

$$X_5 = X_6 = X_{C(T-6,7)} = \frac{U_{kC\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot K_{T-4}^2 = \frac{(-1)\%}{100} \cdot \frac{230^2}{250} \left(\frac{6,6}{230} \right)^2 < 0 \Rightarrow 0,$$

$$X_7 = X_8 = X_{B(T-6,7)} = \frac{U_{kB\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot K_{T-4}^2 = \frac{11,5\%}{100} \cdot \frac{230^2}{250} \left(\frac{6,6}{230} \right)^2 = 0,02 \text{ Om},$$

bu yerda: $U_{kB\%}$, $U_{kC\%}$ – T-6,7 avtotransformatorlarning qisqa tutashuv toki o'tadigan chulg'amlarining hisobiy kuchlanishlari:

$$U_{kB} = 0,5(U_{kB-C} + U_{kB-H} - U_{kC-H}) = 0,5(10,5 + 22 - 9,5) = 11,5 \%,$$

$$U_{kC} = 0,5(U_{kB-C} + U_{kC-H} - U_{kB-H}) = 0,5(10,5 + 9,5 - 22) = -1,0 \%,$$

$$U_{kH} = 0,5(U_{kB-H} + U_{kC-H} - U_{kB-C}) = 0,5(22 + 9,5 - 10,5) = 10,5 \%.$$

T-2,3 transformatorlarning qarshiliklari (xuddi avtotransformatornikiga o'xshash aniqlanadi):

$$X_9 = X_{10} = X_{B(T-2,3)} = \frac{U_{kB\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} K_{T-4}^2 = \frac{13\%}{100} \cdot \frac{242^2}{63} \left(\frac{6,6}{230} \right)^2 = 0,10 \text{ Om},$$

$$X_{11} = X_{12} = X_{H(T-2,3)} = \frac{U_{kH\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} K_{T-4}^2 = \frac{11\%}{100} \cdot \frac{242^2}{63} \left(\frac{6,6}{230} \right)^2 = 0,08 \text{ Om},$$

bu yerda $U_{kB\%}$, $U_{kH\%}$ – T-2,3 transformatorlarning qisqa tutashuv toki o'tadigan chulg'amlarining hisobiy kuchlanishlari:

$$U_{kB} = 0,5(U_{kB-C} + U_{kB-H} - U_{kC-H}) = 0,5(12,5 + 24 - 10,5) = 13\%,$$

$$U_{kC} = 0,5(U_{kB-C} + U_{kC-H} - U_{kB-H}) = 0,5(12,5 + 10,5 - 24) = -0,5\%,$$

$$U_{kH} = 0,5(U_{kB-H} + U_{kC-H} - U_{kB-C}) = 0,5(24 + 10,5 - 12,5) = 11\%.$$

T-1 va T-4,5 transformatorlarning qarshiliklari:

$$X_{13} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} K_{T-4}^2 = \frac{11\%}{100} \cdot \frac{242^2}{63} \left(\frac{6,6}{230} \right)^2 = 0,08 \text{ Om},$$

$$X_{14} = X_{15} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} K_{T-4}^2 = \frac{12\%}{100} \cdot \frac{230^2}{16} \left(\frac{6,6}{230} \right)^2 = 0,327 \text{ Om}.$$

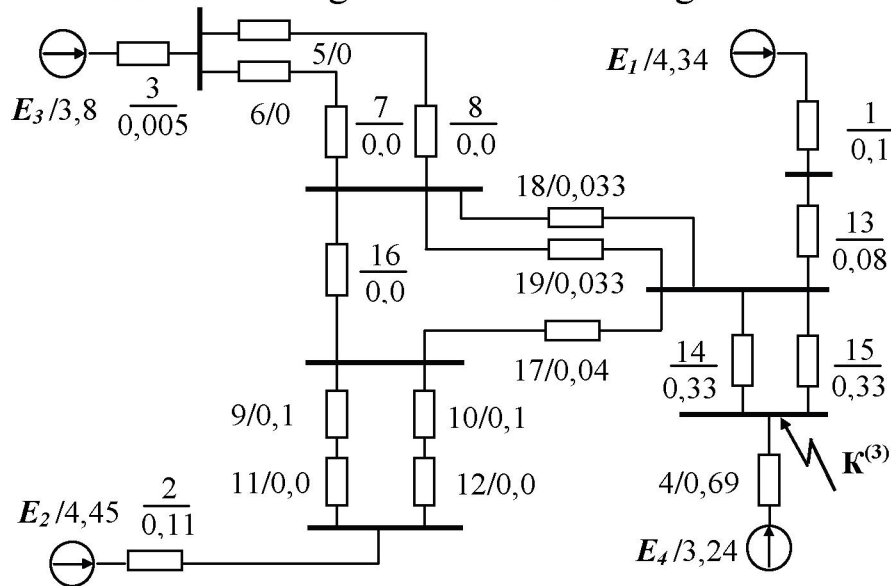
Havo uzatish L-1, L-2, L-3,4 liniyalarning qarshiliklari:

$$X_{16} = X_{L-1} = X_{sol} \ell_1 K_{T-4}^2 = 0,4 \cdot 150 \cdot (6,6 / 230)^2 = 0,05 \text{ Om},$$

$$X_{17} = X_{L-2} = X_{sol} \ell_2 K_{T-4}^2 = 0,4 \cdot 120 \cdot (6,6 / 230)^2 = 0,04 \text{ Om},$$

$$X_{18} = X_{19} = X_{L-3,4} = X_{sol} \ell_3 K_{T-4}^2 = 0,4 \cdot 100 \cdot (6,6 / 230)^2 = 0,033 \text{ Om},$$

Natijada 3.3-rasmda keltirilgan ekvivalent sxemaga kelamiz.



3.3 - rasm.

3.3.3 Almashish sxemasining ekvivalent o'zgartirishlari

1-o'zgartirish. 1 va 13, 10 va 12, 9 va 11, 5 va 8, 6 va 7-qarshiliklar ketma-ket hamda 18 va 19, 14 va 15-qarshiliklarni parallel ulanganligini hisobga olib, quyidagi qarshiliklarni topamiz:

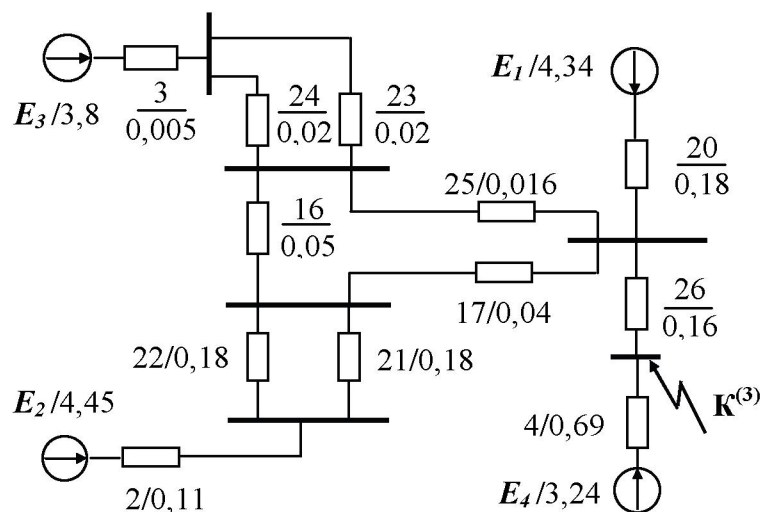
$$X_{20} = X_1 + X_{13} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ Om},$$

$$X_{21} = X_{10} + X_{12} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ Om}, \quad X_{23} = X_5 + X_8 = 0 + 0,02 = 0,02 \text{ Om},$$

$$X_{22} = X_9 + X_{11} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ Om}, \quad X_{24} = X_6 + X_7 = 0 + 0,02 = 0,02 \text{ Om},$$

$$X_{25} = \frac{X_{18} X_{19}}{X_{18} + X_{19}} = \frac{0,033}{2} = 0,0165 \text{ Om}, \quad X_{26} = \frac{X_{14} X_{15}}{X_{14} + X_{15}} = \frac{0,327}{2} = 0,1635 \text{ Om}.$$

Natijada 3.4-rasmda ko'rsatilgan ko'rinishdagi sxemaga kelamiz.



3.4-rasm.

2 va 3-o'zgartirishlar. 21 va 22, 23 va 24-qarshiliklarni parallel hamda 16, 17 va 25-qarshiliklarni uchburchakka ulanganligini hisobga olib, quyidagi ekvivalent qarshiliklarni topamiz:

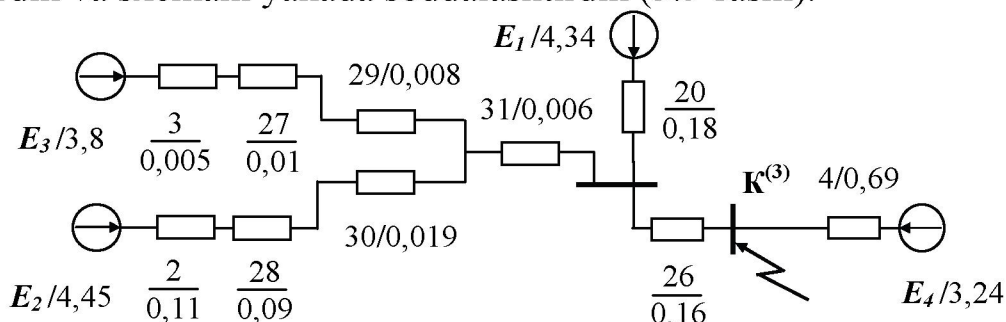
$$X_{27} = \frac{X_{23}X_{24}}{X_{23} + X_{24}} = \frac{0,02}{2} = 0,01 \text{ Om}, \quad X_{28} = \frac{X_{21}X_{22}}{X_{21} + X_{22}} = \frac{0,18}{2} = 0,09 \text{ Om},$$

$$X_{29} = \frac{X_{16}X_{25}}{X_{16} + X_{17} + X_{25}} = \frac{0,05 \cdot 0,0165}{0,05 + 0,04 + 0,0165} = 0,0077 \text{ Om},$$

$$X_{30} = \frac{X_{17}X_{25}}{X_{16} + X_{17} + X_{25}} = \frac{0,04 \cdot 0,0165}{0,05 + 0,04 + 0,0165} = 0,0185 \text{ Om},$$

$$X_{31} = \frac{X_{16}X_{17}}{X_{16} + X_{17} + X_{25}} = \frac{0,05 \cdot 0,04}{0,05 + 0,04 + 0,0165} = 0,0019 \text{ Om}.$$

Bunda uchburchak ulanishni yulduz shakli (29-30-31-qarshiliklar) ga o'zgartirdik va sxemani yanada soddalashtirdik (3.5-rasm).



3.5 - rasm.

Keyinchalik 3, 27, 29 hamda 2, 28, 30-qarshiliklarni ketma-ket ulanganligini hisobga olib 32, 33-qarshiliklarni aniqlaymiz (3.6-rasm):

$$X_{32} = X_3 + X_{27} + X_{29} = 0,005 + 0,01 + 0,0077 = 0,023 \text{ Om},$$

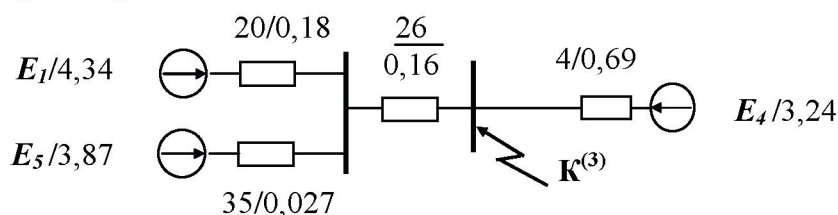
$$X_{33} = X_2 + X_{28} + X_{30} = 0,11 + 0,0919 + 0,0185 = 0,217 \text{ Om} \quad 3.6 - \text{rasm}.$$

4-o'zgartirish. 31, 32 va 33-qarshiliklar qatnashgan shoxobchalarni soddalashtiramiz, buning uchun EYUK E_5 va 35-qarshilikni topamiz (3.7-rasm):

$$E_5 = \frac{E_3 X_{33} + E_2 X_{32}}{X_{33} + X_{32}} = \frac{3,8 \cdot 0,217 + 4,45 \cdot 0,023}{0,217 + 0,023} = 3,873 \text{ kV};$$

$$X_{34} = X_{32} X_{33} / (X_{32} + X_{33}) = 0,023 \cdot 0,217 / (0,023 + 0,217) = 0,0206 \text{ Om};$$

$$X_{35} = X_{34} + X_{31} = 0,0267 \text{ Om}.$$



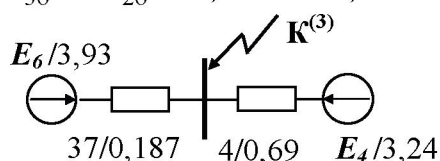
3.7 - rasm.

5-o'zgartirish natijasida 3.8-rasmdagi sxemaga kelamiz, unda:

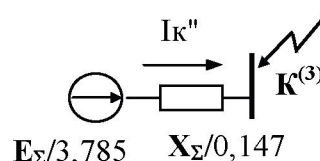
$$E_6 = \frac{E_5 X_{20} + E_3 X_{35}}{X_{20} + X_{35}} = \frac{3,873 \cdot 0,18 + 4,34 \cdot 0,0267}{0,18 + 0,0267} = 3,932 \text{ kV};$$

$$X_{36} = X_{35} X_{20} / (X_{35} + X_{20}) = 0,0267 \cdot 0,18 / (0,0267 + 0,18) = 0,0234 \text{ Om};$$

$$X_{37} = X_{36} + X_{26} = 0,0234 + 0,1635 = 0,187 \text{ Om}.$$



3.8 - rasm



3.9 - rasm.

6-o'zgartirish (oxirgi, 3.9-rasm).

$$E_{\Sigma} = \frac{E_6 X_4 + E_4 X_{37}}{X_4 + X_{37}} = \frac{3,932 \cdot 0,693 + 3,239 \cdot 0,187}{0,693 + 0,187} = 3,785 \text{ kV};$$

$$X_{\Sigma} = X_{37} X_4 / (X_{37} + X_4) = 0,187 \cdot 0,693 / (0,187 + 0,693) = 0,147 \text{ Om}.$$

3.3.4 QTTning periodik tashkil etuvchisi boshlang'ich qiymatini va zarbiy tokni hisoblash

Tokning davriy tashkil etuvchisi boshlang'ich qiymati (o'tao'tkinchi tok):

$$I_k'' = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma}} = \frac{3,785}{0,147} = 25,73 \text{ kA}.$$

Zarbiy tok: $i_{zrb} = \sqrt{2} \cdot K_{zrb} \cdot I_k'' = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 25,73 = 65,51 \text{ kA}.$

4. Uch fazali qisqa tutashuv toklarini nisbiy birliklarda amaliy usul bo'yicha hisoblash namunasi

4.1 Hisoblash tartibi va uslubiy ko'rsatmalar

1. Hisobiy sxema uchun soddalashtirilgan tahminiy keltirilgan almashish sxemasi tuziladi. Bunda transformatorlarning xaqiqiy transformatsiya koeffitsiyentlari olinmaydi, generatorlar o'tao'tkinchi qarshiliklari bilan ko'rsatiladi, yuklamalar esa egri chiziqlar qurilishida hisobga olinganligi tufayli sxemaga kiritilmaydi.

Hisoblashlar nisbiy birliklarda manbalar toklarining alohida o'zgarishini hisobga olgan holda bajariladi. Avvalo bazis shartlar (bazaviy quvvat va kuchlanish) tanlanadi. Bazis kuchlanish sifatida qisqa tutashuv sodir bo'lgan pog'onaning o'rtacha kuchlanishi qabul qilinadi.

2. Sxema elementlarining (generator, transformator va liniya) qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi:

$$X_G = X_d'' \cdot \frac{S_b}{S_{nG}}, \quad X_T = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nT}}, \quad X_L = X_{sol} \cdot \ell \cdot \frac{S_b}{U_{or}^2},$$

bunda maxrajda mos ravishda generator va transformatorning nominal quvvatlari hamda liniya joylashgan pog'onasining o'rtacha kuchlanishi olinadi (2.3-paragrafda keltirilgan shkaladan foydalaning).

3. Almashish sxemada navbatma-navbat ekvivalent o'zgartirishlar bajarilib, har bir manba alohida shoxobchaga ajratiladi (sxema radial ko'rinishga keltiriladi) va ularning natijaviy qarshiliklari hisoblanadi $X_{\Sigma i}$.

4. Har bir shoxobcha uchun hisobiy reaktiv qarshilik qiymati topiladi:

$$X_{his i} = X_{\Sigma i} \cdot \frac{S_{n\Sigma i}}{S_b},$$

bu yerda $S_{n\Sigma i}$ – i - manba generatorlarining nominal quvvatlari yig'indisi.

5. So'ng 4-ilovada keltirilgan hisobiy egri chiziqlar tanlanadi va ularga ko'ra hisoblangan X_{hisi} ga mos keluvchi nisbiy tok qiymatlari $I_{p*ti} = I_{nk1}$ ni istalgan vaqt momenti uchun aniqlash mumkin.

Agar $X_{hisi} > 3$ bo'lsa, bu tokning istalgan vaqtdagi qiymatini quyidagi ifodaga ko'ra hisoblanadi:

$$I_{p*ti} = 1 / X_{his i}.$$

Cheksiz quvvatli sistema qisqa tutashuv tokining periodik tashkil etuvchisini vaqt bo'yicha so'nmas deb hisoblab, u quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{p*S} = \frac{1}{X_{\Sigma S}} I_b = \frac{1}{X_{\Sigma S}} \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b}.$$

6. Vaqtning istalgan momenti uchun QT tokining periodik tashkil etuvchisining haqiqiy qiymati topiladi:

$$I_{kti} = I_{p*ti} \cdot I_{ni} = I_{p*ti} \cdot \frac{S_{ni}}{\sqrt{3} \cdot U_{or}}.$$

7. Qisqa tutashuv to'la toki har bir manbadagi toklarning yig'indisiga teng deb hisoblanadi va jadvalga yoziladi:

$$I_{kt} = I_{kS} + I_{kG-1} + I_{ktG-2}.$$

8. Oldingi badda tuzilgan jadval bo'yicha grafik quriladi.

4.2 Uch fazali qisqa tutashuvni hisobiy egri chiziqlar usulida hisoblash

Uch fazali qisqa tutashuv tokning periodik tashkil etuvchisi $I_{kp} = f(t)$ ni hisobiy egri chiziqlar usulida hisoblaymiz.

Masala berilishlari III paragrafda keltirilgan.

4.2.1 Bazaviy qiymatlarni tanlash va hisoblash

Bazaviy quvvatni $S_b = 100 \text{ MVA}$ ga, bazaviy kuchlanishni esa qisqa tutashuv pog'onasidagi o'rtacha nominal kuchlanish $U_b = U_{or} = 6,3 \text{ kV}$ ga teng qilib, qabul qilamiz. Ular yordamida bazaviy tokni hisoblaymiz:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_b} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,164 \text{ kA}.$$

Berilgan sistema (3.1-rasm) elementlarining parametrlarini nisbiy birliklarda ifodalab hamda ularni bir pog'onaga (o'rtacha nominal U_{or} kuchlanishlar bo'yicha) takribiy keltirib, sistemaning ekvivalent sxemasini tuzamiz.

4.2.2 Sxema elementlarining qarshiliklarini aniqlash va ekvivalent sxemani qurish

Sistema qarshiligi:

$$X_1 = X_{S1} \cdot \frac{S_b}{S_n} = 0,3 \frac{100}{2500} = 0,012.$$

Generatorlarning qarshiliklari:

$$X_2 = X_{G-1} = X_d'' \cdot \frac{S_b}{S_n} = 0,22 \frac{100}{100} = 0,22; \quad X_3 = X_{G-2} = X_d'' \cdot \frac{S_b}{S_n} = 0,13 \frac{100}{62,5} = 0,21.$$

Transformator va avtotransformatorlarning qarshiliklari:

$$X_5 = X_6 = X_{C(T-6,7)} = \frac{U_{kC\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_n} < 0 \Rightarrow 0;$$

$$X_7 = X_8 = X_{B(T-6,7)} = \frac{U_{kB\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_n} = \frac{11,5\%}{100} \cdot \frac{100}{250} = 0,046;$$

$$X_9 = X_{10} = X_{B(T-2,3)} = \frac{U_{kB\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_n} = \frac{13}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,206;$$

$$X_{13} = X_{(T-1)} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_n} = \frac{11\%}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,175;$$

$$X_{14} = X_{15} = X_{(T-4,5)} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_n} = \frac{12\%}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0,75.$$

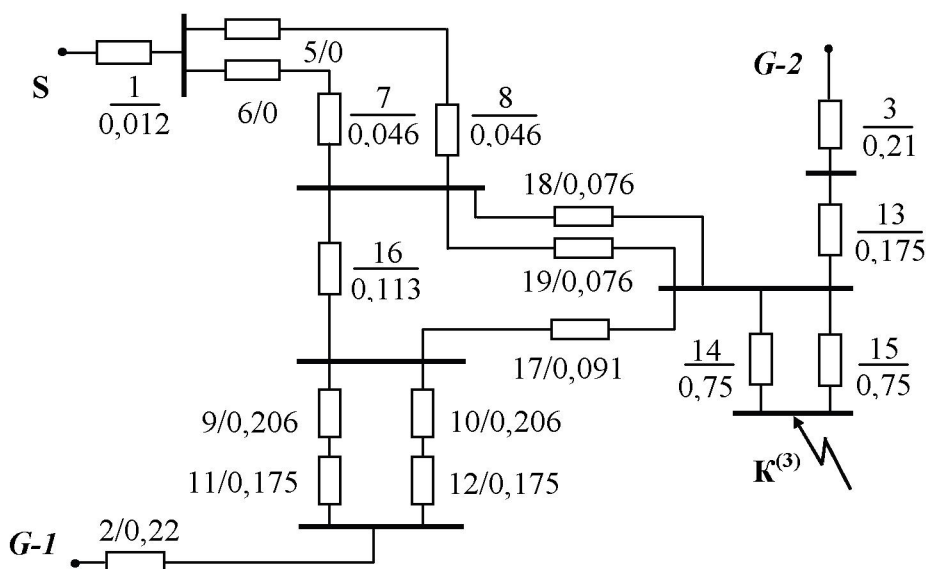
Havo uzatish liniyalarining qarshiliklari:

$$X_{16} = X_{L-1} = X_{sol} \cdot \ell \cdot \frac{S_b}{U_{o'r}^2} = 0,4 \cdot 150 \cdot \frac{100}{230^2} = 0,113;$$

$$X_{17} = X_{L-2} = X_{sol} \cdot \ell \cdot \frac{S_b}{U_{o'r}^2} = 0,4 \cdot 120 \cdot \frac{100}{230^2} = 0,091;$$

$$X_{18} = X_{19} = X_{L-3,4} = X_{sol} \cdot \ell \cdot \frac{S_b}{U_{o'r}^2} = 0,4 \cdot 100 \cdot \frac{100}{230^2} = 0,076.$$

Natijada 4.1-rasmda keltirilgan ekvivalent sxemani hosil qilamiz.



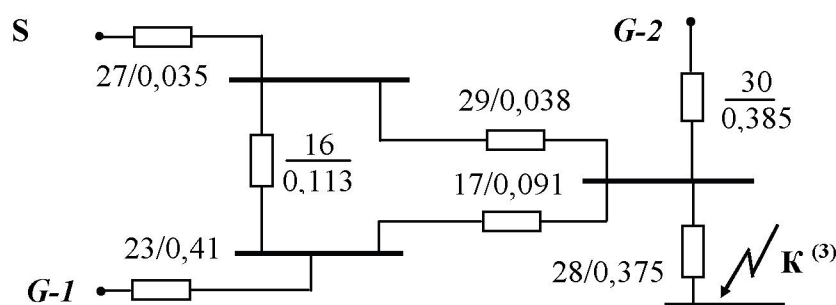
4.1-rasm.

4.2.3 Almashish sxemasining ekvivalent o'zgartirishlari

Sxemani ekvivalent o'zgartirish usuliga ko'ra soddalashtirib, manbalar va qisqa tutashuv nuqtasi oralaridagi o'zaro qarshiliklarini aniqlaymiz.

$$\begin{aligned}
X_{20} &= X_9 + X_{11} = 0,381; & X_{21} &= X_{10} + X_{12} = 0,381; & X_{22} &= \frac{X_{20}X_{21}}{X_{20} + X_{31}} = 0,19; \\
X_{23} &= X_{22} + X_2 = 0,41; & X_{24} &= X_5 + X_8 = 0,046; & X_{25} &= X_6 + X_7 = 0,046; \\
X_{26} &= \frac{X_{24}X_{25}}{X_{24} + X_{25}} = 0,023; & X_{27} &= X_{26} + X_1 = 0,035; & X_{28} &= \frac{X_{14}X_{15}}{X_{14} + X_{15}} = 0,375; \\
X_{29} &= \frac{X_{18}X_{19}}{X_{18} + X_{19}} = 0,038; & X_{30} &= X_3 + X_{13} = 0,385.
\end{aligned}$$

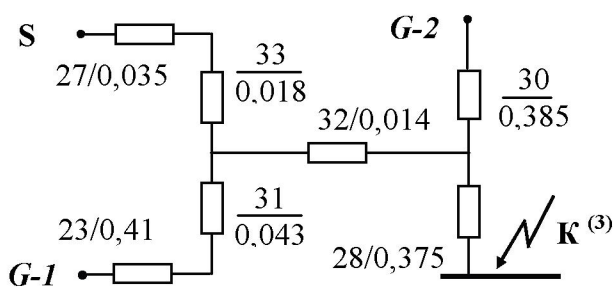
Ekvivalent o'zgartirishlar natijasida 4.2-rasmdagi sxemaga kelimiz.



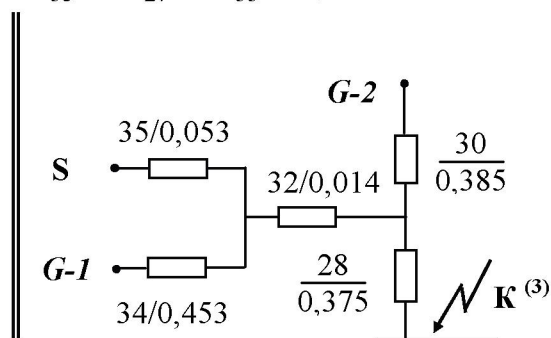
4.2 - rasm.

Sxemadagi 16, 29, 17-qarshiliklarni uchburchak ko'rinishdan 31,32,33-qarshiliklardan iborat bo'lgan yulduz shakliga o'tkazamiz (4.3-rasm) va ketma-ket qarshiliklarni qo'shamiz (4.4-rasm):

$$\begin{aligned}
X_{31} &= \frac{X_{16}X_{17}}{X_{16} + X_{17} + X_{29}} = 0,043; & X_{32} &= \frac{X_{29}X_{17}}{X_{16} + X_{17} + X_{29}} = 0,014; \\
X_{33} &= \frac{X_{29}X_{16}}{X_{16} + X_{17} + X_{29}} = 0,018; & X_{34} &= X_{23} + X_{31} = 0,453; \\
X_{35} &= X_{27} + X_{33} = 0,053.
\end{aligned}$$



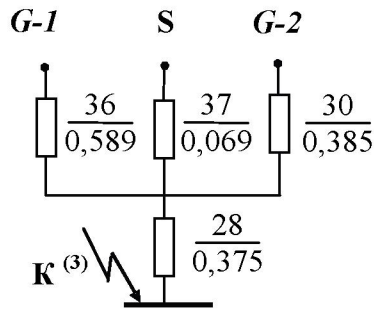
4.3-rasm.



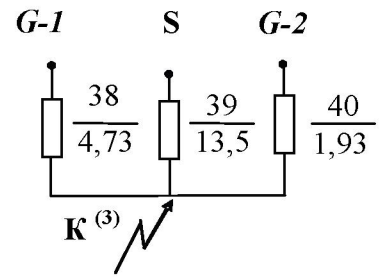
4.4-rasm.

Hisobiy egri chiziqlar usuli qo'llanilganda har xil turdagi generator va sistemalar (4.5-rasm) alohida shoxobchalarga ajratilib chiqariladi.

$$\begin{aligned}
X_{36} &= X_{35} + X_{32} + \frac{X_{35}X_{32}}{X_{34}} = 0,065; & X_{37} &= X_{34} + X_{32} + \frac{X_{34}X_{32}}{X_{35}} = 0,565.
\end{aligned}$$



4.5-rasm.



4.6-rasm.

Hosil qilingan ko'p (to'rt) nurli yulduz shaklidagi sxemani to'la ko'pburchak shakliga o'tkazamiz (2.20-formulaga qarang), bunda faqat manbalar va qisqa tutashuv nuqtasi orasidagi o'zaro qarshiliklarni hisoblab qoldiramiz:

$$Y_{\Sigma} = \frac{1}{X_{28}} + \frac{1}{X_{30}} + \frac{1}{X_{36}} + \frac{1}{X_{37}} = 21,57; \quad X_{38} = X_{\Sigma G-1} = X_{28} \cdot X_{37} \cdot Y_{\Sigma} = 4,763;$$

$$X_{39} = X_{\Sigma S} = X_{28} \cdot X_{36} \cdot Y_{\Sigma} = 0,554; \quad X_{40} = X_{\Sigma G-2} = X_{28} \cdot X_{30} \cdot Y_{\Sigma} = 3,094.$$

Bunda sxema 4.6-rasmda ko'rsatilgan va toklarni hisobiy egri chiziqlar usuli orqali topish qulay bo'lgan ko'rinishga keladi.

4.2.4 QT tokining periodik tashkil etuvchisini aniqlash va grafikni qurish

Har bitta manba tarmoqlari uchun hisobiy qarshiliklarni aniqlaymiz:

$$X_{hisS} = X_{\Sigma S} \cdot \frac{S_{nS}}{S_b} = 0,554 \cdot \frac{2500}{100} = 13,5;$$

$$X_{hisG-1} = X_{\Sigma G-1} \cdot \frac{S_{nG-1}}{S_b} = 4,763 \cdot \frac{100}{100} = 4,763;$$

$$X_{hisG-2} = X_{\Sigma G-2} \cdot \frac{S_{nG-2}}{S_b} = 3,094 \cdot \frac{62,5}{100} = 1,93.$$

Hisobiy qarshiliklari $X_{his} > 3$ bo'lgan manba (bu yerda sistema S va generator G-1) larning QT toklari vaqt bo'yicha o'zgarmas bo'lib, barcha vaqt momentlari uchun ularning periodik tashkil etuvchilarining nisbiy qiymatlari quyidagicha hisoblanadi:

$$I_{p*S} = 1/X_{hisS} = 1/13,5 = 0,074;$$

$$I_{p*G-1} = 1/X_{hisG-1} = 1/4,76 = 0,21.$$

Hisobiy qarshiliklari $X_{his} \leq 3$ bo'lgan manba (bu yerda generator G-2) lar QT toklarining periodik tashkil etuvchilari vaqt bo'yicha o'zgarib,

ularning nisbiy qiymatlari vaqtning ayrim momentlari uchun hisobiy egri chiziqlardan aniqlanadi.

Shu jumladan xisobiy qarshilik $X_{hisG-2} = 1,93$ bo'lganda turbogeneratorlar uchun tuzilgan hisobiy egri chiziqlardan (3-Ilova) generator G-2 dan oquvchi nisbiy QT toklarning qiymatlarini topib, 8-jadvalga yozamiz.

8-jadval

$t (s)$	0	0,1	0,2	0,5	1	2	4	∞
$I_{p^*t G-2}$	0,52	0,487	0,49	0,49	0,506	0,56	0,56	0,56

Sistema S va generator G-1 lardan vaqtning istalgan onida o'tuvchi QT toklarning haqiqiy qiymatlarini hisoblaymiz:

$$I_{kS} = I_{p^*S} \cdot I_{nS} = I_{p^*S} \cdot \frac{S_{nS}}{\sqrt{3} \cdot U_{o'r}} = 0,074 \cdot \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 16,47 \text{ kA},$$

$$I_{kG-1} = I_{p^*G-1} \cdot I_{nG-1} = I_{p^*G-1} \cdot \frac{S_{nG-1}}{\sqrt{3} \cdot U_{o'r}} = 0,21 \cdot \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,005 \text{ kA}$$

Generator G-2 dan o'tuvchi tokning qiymati har bir vaqt oni uchun quyidagi formuladan hisoblanadi va 9-jadvalga yoziladi:

$$I_{kt G-2} = I_{p^*t G-2} \cdot I_{nG-2} = I_{p^*t G-2} \cdot \frac{S_{nG-2}}{\sqrt{3} \cdot U_{o'r}},$$

bunda $U_{o'r}$ – qisqa tutashuv pog'onasidagi o'rtacha nominal kuchlanish (bazaviy kuchlanish).

9-jadval

$t (s)$	0	0,1	0,2	0,5	1	2	4	∞
$I_{kt G-2} (kA)$	2,98	2,79	2,81	2,81	2,9	3,21	3	21

Qisqa tutashuvning to'la toki har bir manbadagi toklarning yig'indisiga teng deb hisoblanadi va natijalar 10-jadvalga yoziladi:

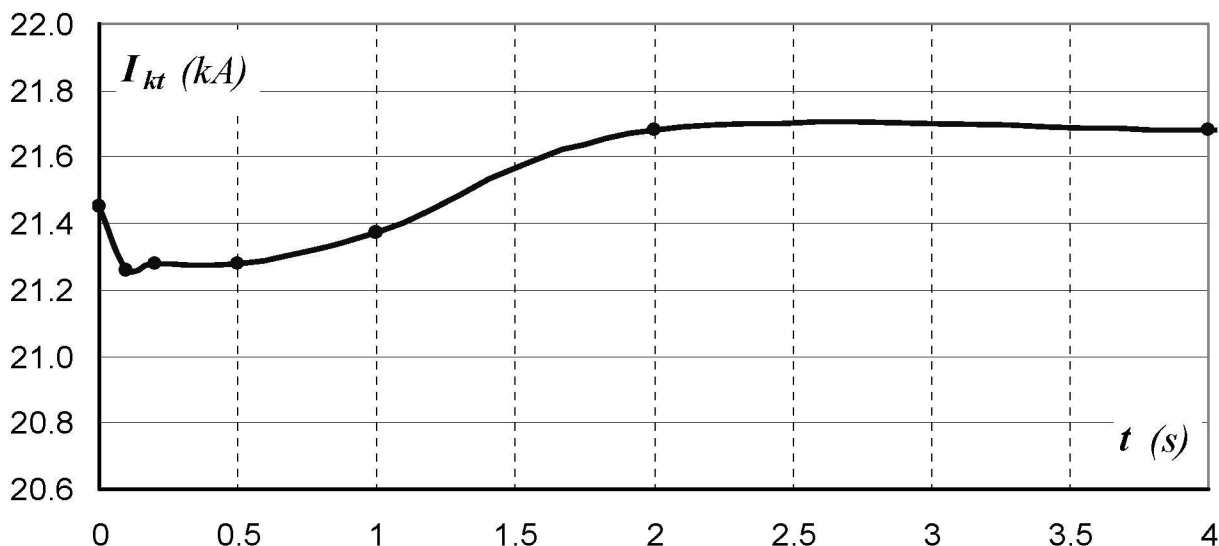
$$I_{kt} = I_{kS} + I_{kG-1} + I_{kt G-2}.$$

10-jadval

$t (s)$	0	0,1	0,2	0,5	1	2	4	∞
$I_{kt} (kA)$	21,45	21,26	21,28	21,28	21,34	21,68	21,68	21,68

Grafikni qurish

10-jadvalda keltirilgan qiymatlar bo'yicha qisqa tutashuv toki periodik tashkil etuvchisining vaqt bo'yicha o'zgarishi grafigi chiziladi (4.7-rasm). Grafikni chizishdan oldin tok va vaqt bo'yicha masshtablarni tanlash lozim. Bu yerda: $m_I = 0,2 \text{ kA/sm}$; $m_t = 0,25 \text{ s/sm}$.



4.7-rasm. Qisqa tutashuv toki periodik tashkil etuvchisining vaqt bo'yicha o'zgarish grafigi.

5. Natijalarni kompyuterda tekshirish

Ikkita usulda masala yechilgan(kurs ishi taxlangan)dan so'ng natijalarni tekshirish uchun mazkur ko'rsatmalar muallifi tomonidan ishlab chiqilgan "Uch fazali QTT larini hisoblash" kompyuter dasturidan foydalanish mumkin. Ushbu programma Microsoft Excel elektron jadvallarda tuzilgan bo'lib, uning formulalar bilan ishlash va diagrammalar qurish imkoniyatlari-dan foydalanilgan.

Programma bir necha varaq(list)dan iborat. Xar bitta list alohida hisobiy sxemani hisoblashga bag'ishlangan. Bitta variant uchun programma-ni ko'rinishi 2-ilovada keltirilgan.

Kurs ishi rahbari yordamida talaba hisobiy sxemasiga qarab listni tanlaydi va birinchi betidagi "Berilgan ma'lumotlar" jadvalini to'ldiradi (I2.1-rasm). Formula, sxema va grafiklarni o'zi bajargan yechimlar bilan solishtiradi, xatolarga yo'l qo'yilgan joylarni aniqlaydi va kerak bo'lsa ularni kurs ishida tuzatadi. Xato 5 foizdan kichik bo'lganda qayta hisoblash bajarilmaydi.

6. Nazorat va o'z-o'zini tekshirish savollari

Tayanch iboralar. O'tkinchi jarayon, elektr sistema, hisobiy va almashish sxemalar, faza, generator, transformator, tarmoq, yuklama, zanjir, shina, tok, kuchlanish, quvvat, qisqa tutashuv, EYUK, qarshilik, vaqt, amplituda, aperiodik, periodik, maksimal qiymat, oniy qiymat, vaqt momenti, nominal qiymat, bazis shartlar, bazis qarshilik, nisbiy va nomli

birliklar, ifoda, qisqa tutashuv tokining boshlang'ich qiymati, periodik va aperiodik tashkil etuvchilar, zarbiy tok, zarbiy koeffitsient, vaqt doimiysi, hisobiy egri chiziqlar, simmetrik va nosimmetrik sistemalar.

Savollar

1. Shikastlanish, jumladan QT qay paytda yuzaga keladi?
2. Shikastlanishdan keyin qanday jarayonlar yuzaga keladi?
3. Elektromagnit o'tkinchi jarayonlarning o'tish tezligi qanday?
4. Elektromexanik o'tkinchi jarayonlarning o'tish tezligi qanday?
5. To'lqinsimon o'tkinchi jarayonlarning o'tish tezligi qanday?
6. O'tkichli qarshilik qachon paydo bo'ladi?
7. Uch fazali sistemalarda qanday qisqa tutashuvlar yuzaga keladi?
8. Metalik qisqa tutashuvlar deb nimaga aytiladi?
9. Nosimmetrik qisqa tutashuvlar nechaga bo'linadi?
10. Qisqa tutashuv tokining majburiy tashkil etuvchisini grafikda ko'rsating.
11. QT tokining aperiodik tashkil etuvchisini grafikda ko'rsating.
12. Qisqa tutashuv tokining periodik tashkil etuvchisini grafikda ko'rsating.
13. Qisqa tutashuv to'la tokini grafikda ko'rsating.
14. QT toki periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymatini grafikda ko'rsating.
15. Zarbiy tok ifodasini keltiring.
16. Vaqt doimiysi qanday aniqlanadi?
17. Uch fazali qisqa tutashuv toklarining necha xil hisoblash usullari mavjud?
18. Nisbiy nominal qarshiliklar qanday aniqlanadi?
19. Bazis kuchlanish qanday aniqlanadi?
20. Bazis tok qanday aniqlanadi?
21. Bazis qarshilik qanday aniqlanadi?
22. Bazis miqdorlar odatda birliklar qanday ifodalanadi?
23. Hisobiy sxemasiga birinchi bo'lib nimalar kiritiladi?
24. Nomli birliklarda hisoblash uchun almashish sxemasi qarshiliklari qanday hisoblanadi?
25. Nisbiy birliklarda hisoblash uchun almashish sxemasi qarshiliklari qanday hisoblanadi?
26. Qisqa tutashuv toklarini hisoblash taritiblarini sanab o'ting.
27. Uch fazali tarmoqlarda qanday nosimmetrik qisqa tutashuv paydo bo'lishi mumkin?
28. Qisqa tutashuv toklarini amaliy usulda hisoblash tartibini ayting.

"O'zbekiston temir yo'llari" DATK
Toshkent temir yo'l muhandislari instituti
«Elektr ta'minoti va mikroprotssessorli boshqaruv» kafedrası

“O'TKINCHI JARAYONLAR”

fanidan
5520200 – “Elektr energetika” bakalavriat ta'lim
yo'nalishi talabalari uchun

KURS IHSI

Bajardi: ET-496 guruh talabasi
Usmonov Rustam

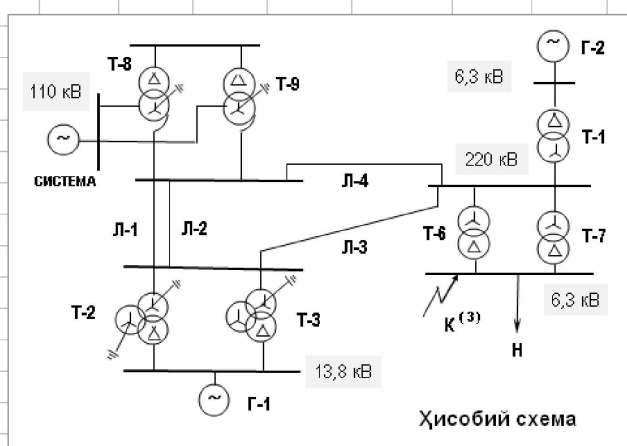
Tekshirdi: _____
Qabul qildi: _____

Toshkent – 2011

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
2			Уч фазали қисқа туташув тоқларини ҳисоблаш													
3			Берилган маълумотлар				Вариант №			(Юклама - 5. ҚТ нуктаси - 9.)						
4																
5		Генератор	S _н (MBA)	cosφ _н	U _н (кВ)	X'' _д	sinφ _н	E'' _н	$E''_{нH} = \sqrt{(\cos\varphi_n)^2 + (\sin\varphi_n + X'_{d_n})^2}$							
6		Г-1	100	0,9	13,8	0,22	0,436	1,114								
7		Г-2	62,5	0,8	6,3	0,13	0,600	1,083								
9		Система	S _{нс} (MBA)	X _{с1} (н.б.)		X _{с0} (ОМ)		E'' _с	U _{асос}	$U_{KB} = 0,5(U_{KB-C} + U_{KB-H} - U_{KC-H})$						
10			2500	0,3		10		1	230	$U_{KC} = 0,5(U_{KB-C} + U_{KC-H} - U_{KB-H})$						
										$U_{KH} = 0,5(U_{KB-H} + U_{KC-H} - U_{KB-C})$						
12		Транс-форматор	S _н (MBA)	U _н (кВ)			U _к %			КТ	U _{кв} %	U _{кс} %	U _{кн} %	U<0		
13				В (юқори)	С (ўрта)	Н (паст)	В - С	В - Н	С - Н		%	%	%			
14		Т - 1	63	242		6,3		11		38,413	5,5	-5,5	5,5	0		
15		Т - 2, 3	63	242	121	13,8	12,5	24	10,5	17,536	13	-0,5	11	0		
16		Т - (6,7)	16	230		6,6		12		0,029	6	-6	6	0		
18		Автотранс-форматор	S _н (MBA)	U _н (кВ)			U _к %			КТ	U _{кв} %	U _{кс} %	U _{кн} %	U<0		
19				В (юқори)	С (ўрта)	Н (паст)	В - С	В - Н	С - Н		%	%	%			
20		Т - (8,9)	250	230	121	11	10,5	22	9,5	1,901	11,5	-1	10,5	0		
21		Ўртача номинал		230	115	37										
23		Линиялар	Л- 1,2	Л- 3	Л- 4	Л- 5,6	Умумлаштирилган линия қаршилиги (Ом/км)			X _{сол}						
24		ℓ (км)	160	125	80				0,4							
26		Юклама Н -1	S (MBA)		Умумлаштирилган юклама				E'' _{юк}	X'' _{юк}						
27			10						0,85	0,35						
28		Базавий қийматлар (II-қисм учун)														
29		S _б (MBA)	U _б (кВ)	I _б (кА)	Босқич учун ўртача номинал кучланиш куйидаги шкала бўйича аниқланади:											
30		1000	10,5	54,99	1115; 770; 515; 340; 230; 154; 115; 37; 27; 24; 20; 18; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15 (кВ).											

12.1-rasm. EXCEL programmasi ko'rinishi

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															
54															



ЕЧИШ

I. Қисқа туташув тоқларни номланган бирликларда аналитик усулда ҳисоблаш.

1. Таъминлаш манбаи ва юклама ЭЮК ларини аниқлаш.

Генераторлар ЭЮК си (ҳалокатга қадар генераторлар номинал режимда ишлаган деб фараз қилмиз):

Г-1 учун:

$$E_1 = E''_{H*} \cdot U_H / \sqrt{3} \cdot K_{T-2} \cdot K_{T-6} = 4,465 \text{ кВ}$$

Г-2 учун:

$$E_2 = E''_{H*} \cdot (U_H / \sqrt{3}) \cdot K_{T-1} \cdot K_{T-6} = 4,342 \text{ кВ}$$

Система ЭЮК си:

$$E_3 = E''_{C*} \cdot (U_H / \sqrt{3}) \cdot K_{T-8} \cdot K_{T-6} = 3,811 \text{ кВ}$$

Юклама ЭЮК си:

$$E_4 = E''_{H*} \cdot U_H / \sqrt{3} = 3,239 \text{ кВ}$$

12.1-rasm davomi.

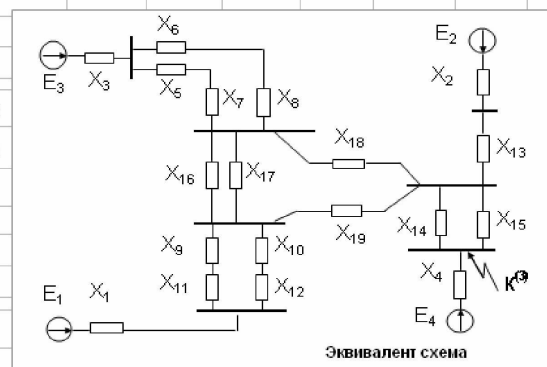
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
55	2. <u>Схема элементларининг қаршилиқларини аниқлаш.</u>														
56	Генератор Г - 1:														
57	$X_1 = X''_d \cdot (U_H^2/S_H) \cdot (K_{T-2} \cdot K_{T-6})^2 =$							0,11	ОМ						
58	Генератор Г - 2:														
59	$X_2 = X''_d \cdot (U_H^2/S_H) \cdot (K_{T-1} \cdot K_{T-6})^2 =$							0,10	ОМ						
60	Автотрансформаторлар Т - 8, 9:														
61	$U_{KB}=0.5 (U_{KB-C}+U_{KB-H} - U_{KC-H})=$							11,5							
62	$U_{KC}=0.5 (U_{KB-C}+U_{KC-H} - U_{KB-H})=$							-1							
63	$U_{KH}=0.5 (U_{KB-H}+U_{KC-H} - U_{KB-C})=$							10,5							
64															
65	$X_5=X_6=X_{c(T-8,9)} = U_{KC}\%/100 \cdot U_H^2/S_H \cdot (K_{T-8} \cdot K_{T-6})^2 =$							0	ОМ						
66	$X_7=X_8=X_{x(T-8,9)} = U_{KB}\%/100 \cdot U_H^2/S_H \cdot K_{T-6}^2 =$							0,020	ОМ						
67	Трансформаторлар Т - 2, 3 (худди Т - 8,9 га ўхшаш):														
68	$U_{KB}=0.5 (U_{KB-C}+U_{KB-H} - U_{KC-H})=$							13							
69	$U_{KC}=0.5 (U_{KB-C}+U_{KC-H} - U_{KB-H})=$							-0,5							
70	$U_{KH}=0.5 (U_{KB-H}+U_{KC-H} - U_{KB-C})=$							11							
71															
72	$X_9=X_{10} = U_{KB}\%/100 \cdot U_H^2/S_H \cdot K_{T-6}^2 =$							0,100	ОМ						
73	$X_{11}=X_{12} = U_{KH}\%/100 \cdot U_H^2/S_H \cdot K_{T-6}^2 =$							0,000	ОМ						
74	Трансформаторлар Т - 1:														
75	$X_{13}=U_K\%/100 \cdot U_H^2/S_H \cdot K_{T-6}^2 =$							0,084	ОМ						
76	Трансформаторлар Т - 6, 7:														
77	$X_{14}=X_{15} = U_K\%/100 \cdot U_H^2/S_H \cdot K_{T-6}^2 =$							0,327	ОМ						

Система:

$$X_3 = X_{C1} \cdot (U_H^2/S_H) \cdot (K_{T-8} \cdot K_{T-6})^2 = 0,005 \text{ ОМ}$$

Юклама:

$$X_4 = X_{ЮК*} \cdot U_H^2/S_H = 1,52 \text{ ОМ}$$

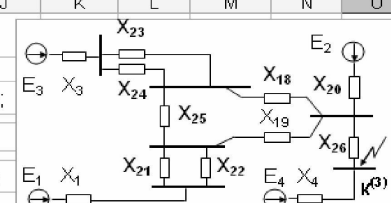
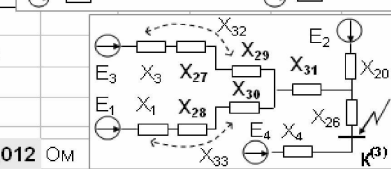
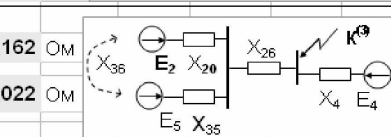
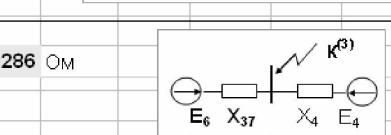
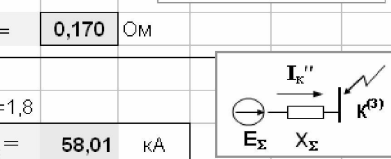
**Узатиш линиялари Л-1, Л-2, Л-3,4:**

$$X_{16} = X_{17} = X_{Л-1,2} = X_{соп} \cdot \ell \cdot K_{T-6}^2 = 0,053 \text{ ОМ}$$

$$X_{18} = X_{Л-3} = X_{соп} \cdot \ell \cdot K_{T-6}^2 = 0,041 \text{ ОМ}$$

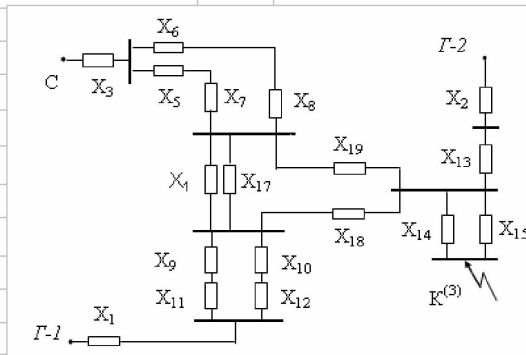
$$X_{19} = X_{Л-4} = X_{соп} \cdot \ell \cdot K_{T-6}^2 = 0,026 \text{ ОМ}$$

12.1-rasm davomi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O						
78	3. Эквивалент ўзгартириш усулини қўллаш																				
79	1-ўзгартириш																				
80	$X_{20}=X_{13}+X_2=$		0,185 Ом;		$X_{21}=X_{22}=X_9+X_{11}=$		0,100 Ом;														
82	$X_{23}=X_{24}=X_5+X_7=$		0,020 Ом																		
84	$X_{25}=X_{16} \cdot X_{17} / (X_{16} + X_{17}) =$		0,021 Ом;		$X_{26}=X_{14} \cdot X_{15} / (X_{14} + X_{15}) =$		0,163 Ом														
86	2-ўзгартириш																				
87	$X_{27}=X_{23} \cdot X_{24} / (X_{23} + X_{24}) =$		0,01 Ом		$X_{28}=X_{21} \cdot X_{22} / (X_{21} + X_{22}) =$		0,0498 Ом														
88	Учбурчак кўринишдаги 6 -25 -9 уланиш юлдуз шакли (29 -30 -31) га ўтказамиз																				
89	$X_{29}=X_{25} \cdot X_{18} / (X_{18} + X_{19} + X_{25}) =$		0,010 Ом																		
91	$X_{30}=X_{25} \cdot X_{19} / (X_{18} + X_{19} + X_{25}) =$		0,0062 Ом		$X_{31}=X_{18} \cdot X_{19} / (X_{18} + X_{19} + X_{25}) =$		0,012 Ом														
93	3-4-5-ўзгартиришлар																				
94	$X_{32}=X_3+X_{27}+X_{29}=$		0,025 Ом		$X_{33}=X_1+X_{28}+X_{30}=$		0,162 Ом														
96	$E_5=(E_3 \cdot X_{33}+E_1 \cdot X_{32}) / (X_{33}+X_{32}) =$		3,898 кВ		$X_{34}=X_{32} \cdot X_{33} / (X_{32} + X_{33}) =$		0,022 Ом														
98	$X_{35}=X_{34}+X_{31}=$		0,034 Ом																		
100	5-6-ўзгартиришлар																				
101	$E_6=(E_2 \cdot X_{35}+E_5 \cdot X_{20}) / (X_{35}+X_{20}) =$		3,967 кВ		$X_{36}=X_{35} \cdot X_{20} / (X_{35} + X_{20}) =$		0,0286 Ом														
103	$X_{37}=X_{36}+X_{26}=$		0,192 Ом																		
104	Натижавий (суммавий) ЭЮК ва қаршилиқ:																				
105	$E_{\Sigma}=(E_4 \cdot X_{37}+E_6 \cdot X_4) / (X_{37}+X_4) =$		3,885 кВ		$X_{\Sigma}=X_{37} \cdot X_4 / (X_{37} + X_4) =$		0,170 Ом														
107	I-қисм жавоблари:																				
108	1) ҚТ токининг даврий ТЭ бошланғич қиймати:										2) Зарбавий ток: $K_y=1,8$										
109	$I''_k=E_{\Sigma}/X_{\Sigma}=$		22,79 кА		$i_{зарб}=\sqrt{2} \cdot K_y \cdot I''_k=$		58,01 кА														

12.1-rasm davomi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
110		II. ҚТ тоқларни нисбий бирликларда амалий усул ёрдамида ҳисоблаш.													
111		Қ ⁽³⁾ нуқтада уч фазали ҚТ тоқи периодик ТЭни вақтга боғланиши $I_{пк}=f(t)$ ни ҳисобий эгри чизиқлар усули билан аниқлаймиз.													
112															
113	1.	Берилган система элементлари параметрларини нисбий бирликларда ифодалаб, уларни битта босқичга ($U_{ўрт}$ буйича) келтириб, алмашиш схема тузамиз.													
114		Базавий қийматларни танлаймиз , бунда базавий қувват 100 ёки 1000 МВА га, базавий кучланиш эса ҚТ нуқтадаги номинал ўртача кучланишга тенг деб қабул қиламиз. Базавий токни қуйидаги формула бўйича аниқлаймиз:													
115		S_б (МВА)	U_б (кВ)												
116		1000	10,5					$I_b = S_b / (\sqrt{3} U_b) =$	54,99	кА					
117															
118		Алماшиш схема элементларининг қаршиликларини ҳисоблаймиз.													
119		Генераторлар:									Система:				
120		$X_1=X_{Г-1}=X''_d \cdot S_b/S_H=$	2,20			$X_2=X_{Г-2}=X''_d \cdot S_b/S_H=$	2,08			$X_3=X_{c1} \cdot S_b/S_H=$	0,12				
121															
122		Трансформатор ва автотрансформаторлар ($U_{кв}, U_{кс}, U_{кн}$ ни I -қисмдан олинг):									Эквивалент алмашиш схемаси				
123		$X_5 = X_6 = X_{c(Г-8,9)} = U_{кв\%}/100 \cdot S_b/S_H =$	0,00												
124		$X_7 = X_8 = X_{в(Г-8,9)} = U_{кв\%}/100 \cdot S_b/S_H =$	0,46												
125		$X_9 = X_{10} = X_{в(Г-2,3)} = U_{кв\%}/100 \cdot S_b/S_H =$	2,063												
126		$X_{11} = X_{12} = X_{н(Г-2,3)} = U_{кн\%}/100 \cdot S_b/S_H =$	0,00												
127		$X_{13} = X_{(Г-1)} = U_{к\%}/100 \cdot S_b/S_H =$	1,746												
128		$X_{14} = X_{15} = X_{(Г-6,7)} = U_{к\%}/100 \cdot S_b/S_H =$	7,5												
129		Узатиш линиялари:													
130		$X_{16} = X_{17} = X_{л-1,2} = X_{соп} \cdot l \cdot S_b/U_{ўрт}^2 =$	1,210												
131		$X_{18} = X_{л-3} = X_{соп} \cdot l \cdot S_b/U_{ўрт}^2 =$	0,945												
132		$X_{19} = X_{л-4} = X_{соп} \cdot l \cdot S_b/U_{ўрт}^2 =$	0,605												
133															



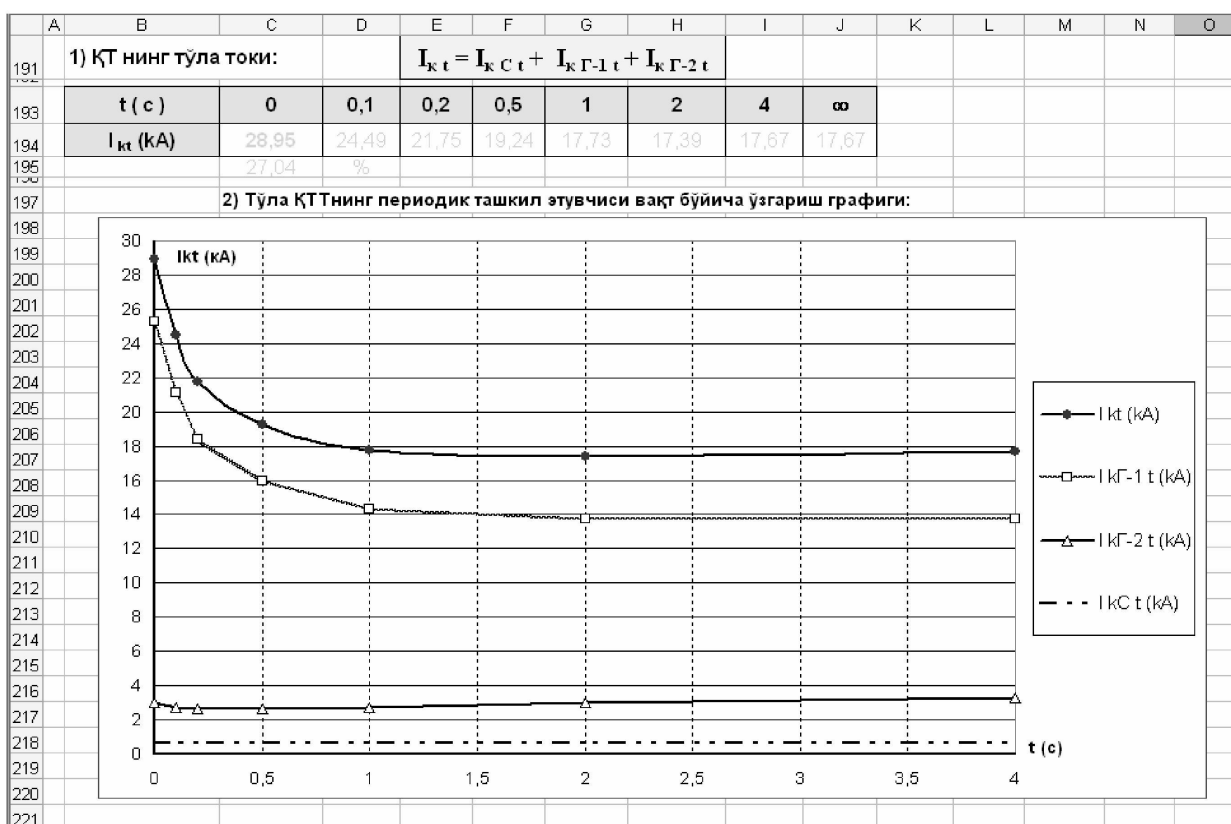
12.1-rasm davomi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
134	2.	Схемани эквивалент ўзгартириш усулига кўра соддалаштириб, нурли схемага келтирамиз.													
135		Манбалар ва ҚТ нуқтаси ораларидаги ўзаро қаршилиқлар аниқланади.													
136		1-ўзгартириш													
137		$X_{20} = X_{21} = X_9 + X_{11} =$		2,063	$X_{22} = X_{20} / X_{21} =$		1,03								
138		$X_{23} = X_{22} + X_1 =$		3,232	$X_{24} = X_{25} = X_5 + X_7 =$		0,460								
139		$X_{26} = X_{24} / X_{25} =$		0,230	$X_{27} = X_{26} + X_3 =$		0,350								
140		$X_{28} = X_{14} / X_{15} =$		3,75	$X_{29} = X_{16} / X_{17} =$		0,605								
141		$X_{30} = X_{13} + X_2 =$		3,826											
142		2-ўзгартириш													
143		Схемадаги 17-19-29 қаршилиқларни учбурчак кўринишдан 31-32-33 қаршилиқлардан иборат бўлган юлдуз шаклига ўтказамиз:													
144		$X_{32} = X_{18} \cdot X_{19} / (X_{29} + X_{19} + X_{18}) =$		0,265											
145		$X_{31} = X_{29} \cdot X_{18} / (X_{29} + X_{19} + X_{18}) =$		0,265											
146		$X_{33} = X_{29} \cdot X_{19} / (X_{29} + X_{19} + X_{18}) =$		0,17											
148		3-ўзгартириш													
149		Кетма-кет уланган қаршилиқларни қўшамиз:													
150		$X_{34} = X_{23} + X_{31} =$		3,497	$X_{35} = X_{27} + X_{33} =$		0,5198								
152		4-ўзгартириш													
153		Ҳисобий эгри чизиқлар усули билан ҳисоблашда турли туркумдаги манбалар													
154		ушбу расмда кўрсатилган дек алоҳда тармоқларга ажратилади:													
156		$X_{36} = X_{34} + X_{32} + X_{34} \cdot X_{32} / X_{35} =$		5,547	$X_{37} = X_{35} + X_{32} + X_{35} \cdot X_{32} / X_{34} =$		0,825								
158		Ҳосил қилинган 4 нурли юлдуз шаклидаги схемани тўла кўпбурчак шаклига ўтказамиз ва нурли схема ҳосил қиламиз.													
159		Бунга фақат манбалар ҚТ нуқтаси ораларидаги ўзаро қаршилиқларни аниқлаймиз:													
160		$\sum Y = 1/X_{36} + 1/X_{37} + 1/X_{30} + 1/X_{28} =$		4,08	$X_{38} = X_{Г-1-к} = X_{\sum Г-1} = X_{36} \cdot X_{28} \cdot \sum Y =$		84,963								
161		$X_{39} = X_{Г-к} = X_{\sum Г} = X_{37} \cdot X_{28} \cdot \sum Y =$		12,629	$X_{40} = X_{Г-2-к} = X_{\sum Г-2} = X_{30} \cdot X_{28} \cdot \sum Y =$		58,600								

12.1-rasm davomi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
162	3. Ҳисобий эгри чизиклар усулини қўллаш.														
163	Охириги кўринишдаги схема тоқларни ҳисобий эгри чизиклар усулибидан аниқлаш учун қўлай.														
164	Манбалар алоҳида тармоқлари учун ҳисобий қаршилиқларни аниқлаймиз:														
167	$X_{\text{Ҳис.Г-1}} = X_{\Sigma\Gamma-1} \cdot S_{\text{НГ-1}}/S_6 = 1,26$					< 3		0,21							
168	$X_{\text{Ҳис.Г-2}} = X_{\Sigma\Gamma-2} \cdot S_{\text{НГ-2}}/S_6 = 3,66$					< 3		1,17							
169	$X_{\text{Ҳис.С}} = X_{\Sigma\text{С}} \cdot S_{\text{НС}}/S_6 = 212,41$					> 3		22,06							
170															
171	Ҳисобий қаршилиқлари $X_{\text{Ҳис}} > 3$ бўлган манбаларнинг ҚТ тоқлари t буйича ўзгармайди ва вақтнинг исталган пайти учун:														
172	Система дан оқувчи ҚТ тоқнинг периодик ташкил этувчисининг нисбий қиймати:														
173	$I_{\text{П}^*(\text{С})} = 1 / X_{\text{Ҳис.С}} = 0,005$														
174	Ҳисобий қаршилиқлари $X_{\text{Ҳис}} < 3$, бўлган манбалардан оқувчи тоқлар даврий ташкил этувч $X_{\text{ҲисГ-1}} = 1,26$; $X_{\text{ҲисГ-2}} = 3,66$														
175	булгандаги манбалардан оқувчи нисбий тоқлар қийматлари эгри чизиклардан топилиб, қуйидаги жадвалга ёзилади:														
176															
177	$t (\text{с})$	0	0,1	0,2	0,5	1	2	4	∞						
178	$I_{\text{П}^* (\Gamma-1)}$	4,6	3,84	3,35	2,9	2,61	2,5	2,5	2,5						
179	$I_{\text{П}^* (\Gamma-2)}$	0,875	0,795	0,78	0,77	0,795	0,872	0,952	0,953						
180	$I_{\text{П}^* (\text{С})}$	0,52	0,487	0,49	0,49	0,506	0,56	0,56	0,56						
181	Ҳар моментда манбалардан оқувчи ҳақиқий тоқлар қийматлари қуйидаги формулалардан топилиб, жадвалга ёзилади:														
182	$I_{\text{КС } t} = I_{\text{П}^*} \cdot I_{\text{НС}} = I_{\text{П}^*(\text{С})} \cdot S_{\text{НС}} / (\sqrt{3} U_{\text{ҲПН(6)}}) = 0,65$						kA								
183	$I_{\text{КГ-1 } t} = I_{\text{П}^*} \cdot I_{\text{НГ-1}} = I_{\text{П}^*(\Gamma-1)} \cdot S_{\text{НГ-1}} / (\sqrt{3} U_{\text{ҲПН(6)}}) = 4,354$														
184	$I_{\text{КГ-2 } t} = I_{\text{П}^*} \cdot I_{\text{НГ-2}} = I_{\text{П}^*(\Gamma-2)} \cdot S_{\text{НГ-2}} / (\sqrt{3} U_{\text{ҲПН(6)}}) = 0,938$						$\sqrt{3} = 1,7321$								
185															
186	$t (\text{с})$	0	0,1	0,2	0,5	1	2	4	∞						
187	$I_{\text{КГ-1 } t} (\text{kA})$	25,29	21,11	18,42	15,95	14,35	13,75	13,75	13,75						
188	$I_{\text{КГ-2 } t} (\text{kA})$	3,01	2,73	2,68	2,65	2,73	3,00	3,27	3,28						
190	$I_{\text{КС } t} (\text{kA})$	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65						

12.1-rasm davomi.



12.1-rasm davomi.

3-ilova

I3.1-jadval

Elektr sistema elementlarining almashish sxemalari va ularning qarshiliklarini aniqlash uchun hisobiy ifodalar

Element nomlanishi	Prinsipial hisobiy sxema	Almashish sxema	Dastlabki parametr	Element qarshiligi (Om)
Generator Sinxron kompensator			U_{nom} (kV); S_{nom} (MVA); $x''_{*d(hom)}$	$x = x''_d = x''_{*d(iii)} \cdot \frac{U_{iii}^2}{S_{iii}}$
Asinxron motor			R_{nom} (MVt); $\cos\phi_{nom}$; U_{nom} (kV); K_P ; η (%)	$x = x'' = x''_{*d(iii)} \cdot \frac{U_{iii}^2}{S_{iii}};$ $x''_{*d(iii)} = \frac{1}{\hat{E}_I}; \quad S_{iii} = \frac{P_{iii}}{\cos\phi_{iii} \cdot \eta/100}$
Ekvivalent yuklama			U_{nom} (kV); S_{nom} (MVA).	$x = x'' = 0,35 \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$
Ekvivalent manba (sistema)			U_{nom} (kV); S_{KZ} (MVA)	$x = \frac{U_{nom}^2}{S_{KZ}}$
			S_{nom} (MVA), $x_{*(nom)}$.	$x = x_{*(nom)} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$
Ikki chulg'amli transformator Avtotransformator			U_{nomVN} (kV); U_{nomNN} (kV); S_{nom} (MVA); u_k (%).	$x = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$

I3.1-jadval davomi

Element nomlanishi	Prinsipial hisobiy sxema	Almashish sxema	Dastlabki parametr	Element qarshiligi (Om)
Uch chulg'amli transformator Avtotransformator			$U_{nomVN} \text{ (kV)};$ $U_{nomSN} \text{ (kV)};$ $U_{nomNN} \text{ (kV)};$ $S_{nom} \text{ (MVA)};$ $u_{kVN} \text{ (\%)};$ $u_{kVS} \text{ (\%)};$ $u_{kSN} \text{ (\%)}.$	$x_B = \frac{0,5(u_{kBC} + u_{kBH} - u_{kCH})}{100} \cdot \frac{U_{HOM}^2}{S_{HOM}}$ $x_C = \frac{0,5(u_{kBC} + u_{kCH} - u_{kBH})}{100} \cdot \frac{U_{HOM}^2}{S_{HOM}}$ $x_H = \frac{0,5(u_{kBH} + u_{kCH} - u_{kBC})}{100} \cdot \frac{U_{HOM}^2}{S_{HOM}}$
Reaktor			$x_{nom} \text{ (Om)}.$	$x = x_{HOM}$
Ikkilangan reaktor			$x_{nom} \text{ (Om)};$ K_{sv}	$x_1 = -k_{c6} \cdot x_{HOM}$ $x_2 = x_3 = (1 + k_{c6}) \cdot x_{HOM}$
Elektr uzatish havo liniyasi			$x_l \text{ (Om/km)};$ $l \text{ (km)}$	$x = x_l \cdot l$
Elektr uzatish kabel liniyasi			$x_l \text{ (Om/km)};$ $R_l \text{ (Om/km)};$ $l \text{ (km)}$	$x = x_l \cdot l$ $R = R_l \cdot l$

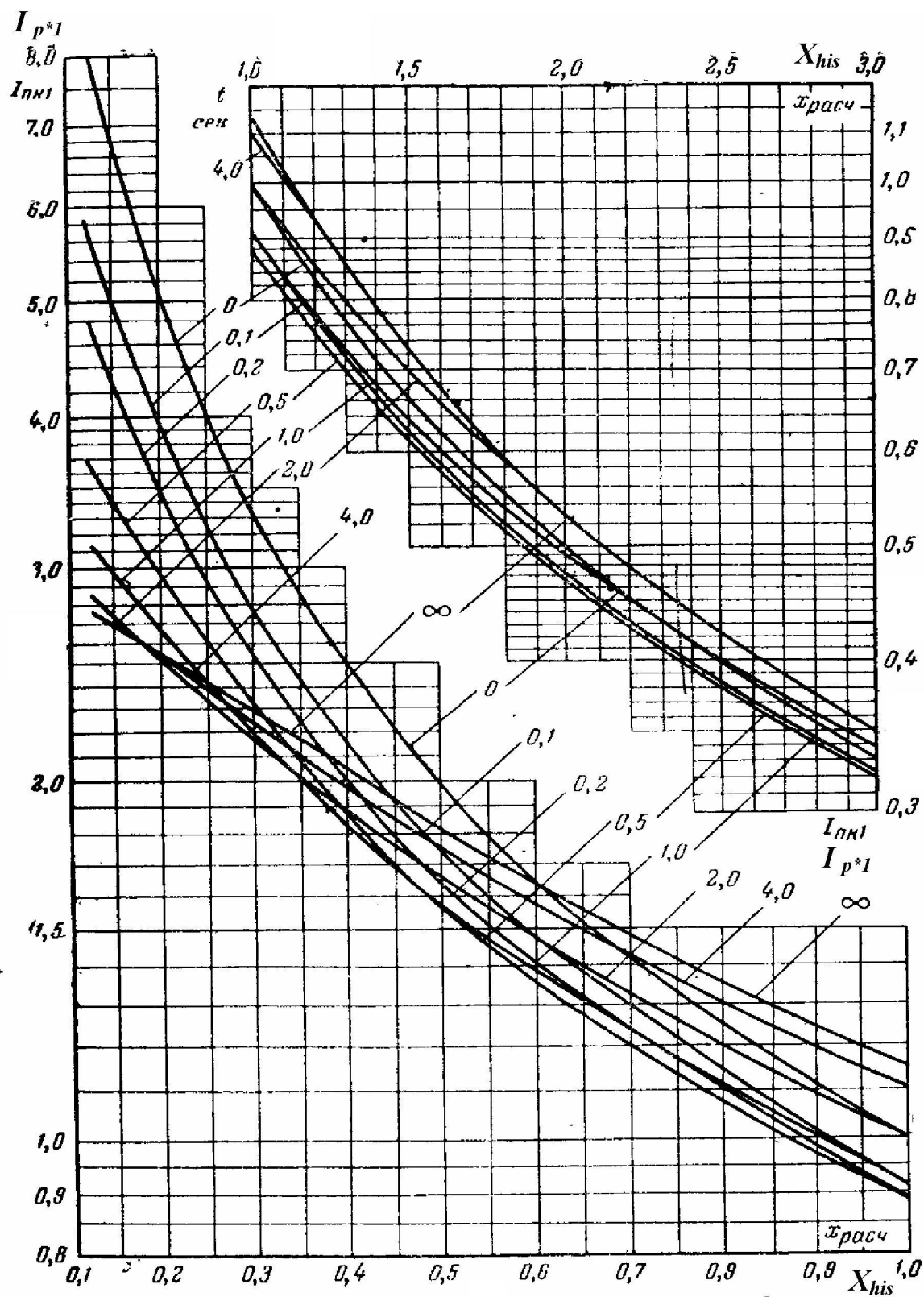
U , I va X larni nisbiy bazaviy qiymatlarga qayta hisoblash

Qayta hisoblash xarakteri	Keltiriladigan qiymat	Hisobiy ifodalar	
		Transformatsiyaning asosiy pog'onasi	Transformatsiyaning boshqa pog'onalari
Nomli qiymatlardan nisbiy bazaviy qiymatlarga o'tkazish	$U_{*(b)}$	$\frac{U}{U_{\delta}}$	$\frac{U}{U_{\delta}}$ yoki $\frac{\dot{U}}{U_{\delta}}$
	$I_{*(b)}$	$\frac{I}{I_{\delta}}$	$\frac{I}{I_{\delta}}$ yoki $\frac{\dot{I}}{I_{\delta}}$
	$X_{*(b)}$	$X \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}$	$X \frac{S_{\delta}}{(U_{\delta})^2}$ yoki $\dot{X} \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}$
Nisbiy nominal qiymatlardan nisbiy bazaviy qiymatlarga o'tkazish	$X_{*(b)}$	$X_{*(iii)} \frac{I_{\delta} U_{iii}}{I_{iii} U_{\delta}}$	$X_{*(iii)} \frac{\dot{I}_{\delta} U_{iii}}{I_{iii} \dot{U}_{\delta}}$
		$X_{*(HOM)} \frac{I_{\delta}}{I_{HOM}}$	$X_{*(HOM)} \frac{\dot{I}_{\delta}}{I_{HOM}}$
		$X_{*(HOM)} \frac{S_{\delta} U_{HOM}^2}{S_{HOM} U_{\delta}^2}$	$X_{*(HOM)} \frac{S_{\delta} U_{HOM}^2}{S_{HOM} \dot{U}_{\delta}^2}$
		$X_{*(HOM)} \frac{S_{\delta}}{S_{HOM}}$	$X_{*(HOM)} \frac{S_{\delta}}{S_{HOM}}$

Ba'zi elementlarning o'tao'tkinchi EYUK va qarshiliklari

Element nomlanishi	E''	x''
Dempfer chulg'amli gidrogenerator	1,13	0,2
Dempfer chulg'ami bo'lmagan gidrogenerator	1,18	0,27
Quvvati 100 MVt gacha bo'lgan turbogenerator	1,08	0,125
Quvvati 100-500 MVt bo'lgan turbogenerator	1,13	0,2
Sinxron kompensator	1,2	0,2
Sinxron motor	1,1	0,2
Asinxron motor	0,9	0,2
Umumlashtirilgan yuklama	0,85	0,35

Qisqa tutashuv toklarining hisobiuy egri chiziqlari
 [ARV ga ega bo'lgan o'rta quvvatli (100 MVt gacha) turbogenerator uchun]



Adabiyotlar

1. Аллаев Қ.Р. Электромеханик ўткинчи жараёнлар. -Т.: “Молия”, 2007. – 270 б.
2. Usmonxo'jaev N., Yoqubov B., Qodirov A., Sog'atov G'. Elektr ta'minoti. -Т.: Fan va texnologiya, 2007. – 430 b.
3. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. -М.: Энергия, 1979. –520 стр.
4. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G'. Elektrotexnikaning nazariy asoslari. 1,2-qism. -Т.: O'zbekiston, 2007. –151 b.,125 b.
5. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: метод. пособие / сост. Т.Я. Окуловская, Т.Ю.Паниковская, В.А.Смирнов. Екатеринбург: УГТУ, 1997. –84 стр.
6. Беляева Е.Н. Как рассчитать ток короткого замыкания. -М.: Энергоатомиздат, 1983. –136 стр.
7. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах [Электронный ресурс]: метод. указания по практ. занятиям /сост. А.Э.Бобров, А.М.Дяков, В.Б.Зорин, Л.И.Пилушенко. – Электрон. дан. (2 Мб). Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 92стр.
8. ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.
9. <http://revolution.allbest.ru/physics/00054668.html>.
10. Электр тизимларида ўткинчи жараёнлар: услубий кўрсатма / тузувчи А.М.Сафаров. -Т.: ТаШИИТ, 2004. –24 б.

Mundarija

Kirish	3
1. Kurs ishi topshirig'i, variantlari va tushintirish xati rasmiylashtirishiga qo'yilgan talablar	4
2. Qisqacha nazariy ma'lumotlar	10
2.1 Elektromagnit o'tkinchi jarayonlar va qisqa tutashuvlar	10
2.2 Uch fazali qisqa tutashuv tokining tashkil etuvchilari va zarbiy tok	13
2.3 Elektr sistemaning hisobiy va almashish sxemalari	18
2.4 Nisbiy birliklar sistemasi	21
3. Uch fazali qisqa tutashuv toklarni nomli birliklarda analitik usulda hisoblash namunasi	23
3.1 Namunaviy masalaning dastlabki ma'lumotlari	23
3.2 Hisoblash tartibi va uslubiy ko'rsatmalar	24
3.3 Uch fazali qisqa tutashuvni analitik usulda hisoblash	26
3.3.1 Ekvivalent almashish sxemasini tuzish	26
3.3.2 Ekvivalent sxemaning EYUK va qarshiliklarini hisoblash	26
3.3.3 Almashish sxemasining ekvivalent o'zgartirishlari	29
3.3.4 QTTning periodik tashkil etuvchisi boshlang'ich qiymatini va zarbiy tokni hisoblash	31
4. Uch fazali qisqa tutashuv toklarini nisbiy birliklarda amaliy usul bo'yicha hisoblash namunasi	32
4.1 Hisoblash tartibi va uslubiy ko'rsatmalar	32
4.2 Uch fazali qisqa tutashuvni hisobiy egri chiziqlar usulida hisoblash	33
4.2.1 Bazaviy qiymatlarni tanlash va hisoblash	33
4.2.2 Sxema elementlarining qarshiliklarini aniqlash va ekvivalent sxemani qurish	33
4.2.3 Almashish sxemasining ekvivalent o'zgartirishlari	34
4.2.4 QT tokining periodik tashkil etuvchisini aniqlash va grafikni qurish	36
5. Natijalarni kompyuterda tekshirish	38
6. Nazorat va o'z-o'zini tekshirish savollari	38
1-ilova	40
2-ilova	41
3-ilova	49
4-ilova	52
Adabiyotlar	53

Bepul tarqatiladi	Muharrir:	Z.D. Begmatova
Nashrga ruhsat etildi 23.11.2011		Hajmi 3,5 b. t.
Qog'oz bichimi 60×84/16	Adadi 15 nusxa	Buyurtma № 26/3
ToshTYMI bosmaxonasi	Toshkent sh., Odilxo'jayev ko'chasi, 1	