

**ÓZBEKISTAN RESPUBLIKASI JOQARI HÁM ORTA
ARNAWLI BILIMLENDIRIW MINISTRLIGI**

Berdaq atındaǵı Qaraqalpaq mámleketlik universiteti

T.Sh.Gayibov., K.M.Reymov., G.M.Turmanova., A.M.Najimova

**ELEKTR TARMAQLARÍ HÁM
SISTEMALARÍ.
MÍSAL HÁM MÁSELELER TOPLAMÍ**

***5310200 - «Elektroenergetika (energiyanı islep shıǵarıw, uzatıw hám
bólistiriw)» baǵdarı studentleri ushın oqıw qollanba***

Nókis – 2018

UO’K 621.311 (075.8)

KBK: 30.61

T.Sh.Gayibov., K.M.Reymov., G.M.Turmanova., A.M.Najimova.
“Elektr tarmoqlari ham sistemalari. Misal ham masaleler toplami”.
Oqiw qollanba. Nókis: 2018, 171 b.

Oqiw qollanba elektr tarmoqlari ham sistemalari boyinsha teoriyalıq maǵlıwmatlar, masaleler sheshiw úlgileri ham ózbetinshe sheshiw ushin masaleler toplamlari keltirilgen. Usı pándi tereń ózlestiriwdi támiynlew maqsetinde hár bir maseleni sheshiw tolıq túsindiriwler, sxemalar ham illyustrativ materiallar tiykarında ámelge asırılǵan.

Qollanba bakalavriattıń 5310200 – “Elektr energetikasi” qániygeliginde tálim alıwshı studentler ushin arnalǵan. Sonday-aq, qollanba usı qániygelikke jaqın bolǵan basqa qániygelikler, kásip-óner kolledjleri studentleri hamde elektr tarmoqlari ham sistemalari boyinsha bilimlerin ǵárezsiz ráwishte asırıwshı qániygeler ushin da paydalı esaplanadı.

Sınshılar:

Pirmatov N.B. – TashMTU “Elektr mashinalari” kafedrası baslıǵı, t.i.d.,
professor

Babajanov. Yu.A. – “Taxiyatash IES”AJ texnikalıq direktori orinbasari.

«Elektr tarmoqlari ham sistemalari. Misal ham masalalar to'plami». O'quv qo'llanbasi o'quv dasturi tiykarida tayarlangan. Ushbu o'quv qo'llanbada elektr tarmoqlarining klassifikatsiyasi ham parametrlari kórip shiqilgan. Elektr tarmoqlarining ózine tán bolgan jag'daylari esaplaw, kernewdi retlew, elektr energiyani sypatini asiraw ham tejew, sonini menen birge, elektr tarmoqlarda quwatliq ham elektr energiya jo'galiqlarini kemeytiriw masaleleri jaritilgan.

Ushbu o'quv qo'llanba Ózbekistan Respublikasi joqari ham orta arnawli texnik o'quv orinlarini studentlerine arnalgan.

«Elektr tarmoqlari va tizimlari. Misol va masalalar to'plami» o'quv qo'llanmasi o'quv dasturi asosida tayyorlangan. Ushbu o'quv qo'llanmada elektr tarmoqlarining tasniflanishi va parametrlari qo'rib chiqilgan. Elektr tarmoqlarining xususiyatli holatlarini hisoblash, kuchlanishni rostlash, elektr energiyani sifatini oshirish va iqtisodiyliqi, shu bilan birga, elektr tarmoqlarda quvvat va elektr energiya isroflarini kamaytirish masalalari yoritilgan.

Mazkur o'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus texnik o'quv yurtlarining talabalariga mo'ljallangan.

Учебное пособие «Электрические сети и системы. Сборник примеров и задач» подготовлен на основе учебной программы. В учебном пособии рассмотрены классификации и параметры электрических сетей, даны расчеты характерных режимов, регулирование напряжения, освещены вопросы повышения качества и экономичности электроэнергии, а также мероприятия по уменьшению потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях.

Учебное пособие предназначено для студентов технических вузов министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан.

The manual «Electrical networks and systems. Collection of examples and problems» is prepared on the basis of the curriculum. In manual are considered the classification and parameters of electrical networks, calculation of characteristic regimes and voltage regulation are given, the issues of quality improvement, energy efficiency, and measures to reduce power and electric power losses in electric networks are covered.

The manual is intended for students of technical colleges of the ministry of the higher and secondary special education of the Republic of Uzbekistan.

M A Z M U N Í

	Kirisiw	14
1 – BAP.	Elektr tarmaq elementleriniń almastırıw sxemaları hám esap parametrleri	15
1.1.	Elektr uzatıw liniyalarınıń almastırıw sxemaları hám esap parametrleri	15
1.2.	Transformator hám avtotransformatorlardıń almastırıw sxemaları	19
1.3.	Máseleler sheshiw úlgileri	24
1.4.	Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler	32
2 – BAP.	Támiynlewshi ashıq elektr tarmaqlarınıń jaǵdaylarín esaplaw	35
2.1.	Elektr uzatıw liniyalarınıń jaǵdaylarín esaplaw	35
2.2.	Máseleler sheshiw úlgileri	38
2.3.	Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler	47
3 – BAP.	Bólistiriwshi elektr tarmaqlarınıń jaǵdaylarín esaplaw	48
3.1.	$U_n \leq 35$ kV bolǵan bólistiriwshi elektr tarmaqların esaplawda qabıl qılınıwshı ápiwayılastırıwlar	48
3.2.	Bólistiriwshi elektr tarmaqlarda kernew ısırabınıń eń úlken mánisin esaplaw	49
3.3.	Máseleler sheshiw úlgileri	51
3.4.	Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler	52
4 – BAP.	Jabıq elektr tarmaqlarınıń jaǵdaylarín esaplaw	53
4.1.	Ápiwayı jabıq elektr tarmaqlarda quwatlıq aǵımları hám túyin kernewlerin esaplaw	53
4.2.	Quramalı-jabıq elektr tarmaqlarda quwatlıq aǵımınıń bólistiriliwin esaplaw	57
4.3.	Máseleler sheshiw úlgileri	60
4.4.	Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler	68
5 – BAP.	Elektr tarmaqlarında kernewdi retlew	70
5.1.	Ulıwma túsinikler	71
5.2.	Kernewdi qarama-qarsı retlew	71

5.3.	Páseytiriwshi podstanciyalarda kernewdi retlew	73
5.4.	Kernewdi tarmaqtıń qarsılıǵın ózgertirip retlew	77
5.5.	Kernewdi reaktiv quwatlıq aǵımın ózgertirip retlew	80
5.6.	Máseleler sheshiw úlgileri	82
5.7.	Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler	99
6 – BAP.	Elektr tarmaqlarında quwatlıq hám energiya ısırapların esaplaw	102
6.1.	Elektr tarmaqlarında energiya ısırabın júkleme grafigi hám maksimal ısıraplar waqıtı boyınsha esaplaw	102
6.2.	Máseleler sheshiw úlgileri	107
6.3.	Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler	110
7- BAP.	Elektr uzatıw liniyaları ótkizgishleriniń kese-kesim maydanların tańlaw	112
7.1.	Ótkizgishtiń kese-kesim maydanın toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlaw	112
7.2.	Hawa EUL ótkizgishi kese-kesim maydanın ekonomikalıq intervallar boyınsha tańlaw	116
7.3.	Bólistiriwshi elektr tarmaqlarda EUL ótkizgishiniń kese-kesim maydanın ruxsat etilgen kernew ısırabı boyınsha tańlaedıń xarakterli qásiyetleri	118
7.4.	Máseleler sheshiw úlgileri	124
7.5.	Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler	133
8- BAP.	Elektr tarmaqlarında quwatlılıq hám energiya ısırapların kemeytiriw ilajları	135
8.1.	Bólistiriwshi elektr tarmaq jaǵdayların reaktiv quwatlıq, kernew hám transformaciya koefficientleri boyınsha optimallaw	136
8.2.	Bólistiriwshi elektr tarmaqlarda quwatlıq hám energiya ısırapların kemeytiriw	142
8.3.	Máseleler sheshiw úlgileri	143
8.4.	Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler	146
	Glossariy	147

Ádebiyatlar	150
I Qosímsha	152
II Qosímsha	157
III Qosímsha	170

M U N D A R I J A

Kirish	14
1 – BOB. Elektr tarmoq elementlarining almashtirish sxemalari va hisob parametrlari	15
1.1. Elektr uzatish liniyalarining almashtirish sxemalari va parametrlari	15
1.2. Transformator va avtotransformatorlarning almashtirish sxemalari	19
1.3. Masalalar yechish namunalari	24
1.4. Mustaqil yechish uchun masalalar	32
2 – BOB. Ta’minlovchi ochiq elektr tarmoqlarining holatlarini hisoblash	35
2.1. Elektr uzatish liniyalarining holatlarini hisoblash	35
2.2. Masalalar yechish namunalari	38
2.3. Mustaqil yechish uchun masalalar	47
3 – BOB. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarining holatlarini hisoblash	48
3.1. $U_n \leq 35$ kV li taqsimlovchi elektr tarmoqlarini hisoblashda qabul qilinuvchi soddalashtirishlar	48
3.2. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanish isrofining eng katta qiymatini hisoblash	49
3.3. Masalalar yechish namunalari	51
3.4. Mustaqil yechish uchun masalalar	52
4 – BOB. Yopiq elektr tarmoqlarining holatlarini hisoblash	53
4.1. Oddiy yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlari va tugun kuchlanishlarini hisoblash	53
4.2. Murakkab-yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimining	

	taqsimlanishini hisoblash	57
4.3.	Masalalar yechish namunalari	60
4.4.	Mustaqil yechish uchun masalalar	68
5 – BOB.	Elektr tarmoqlarda kuchlanishni rostlash	70
5.1.	Umumiy tushunchalar	71
5.2.	Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash	71
5.3.	Pasaytiruvchi podstancyalarda kuchlanishni rostlash	73
5.4.	Kuchlanishni tarmoqning qarshiligini o'zgartirib rostlash	77
5.5.	Kuchlanishni reaktiv quvvat oqimini o'zgartirib rostlash	80
5.6.	Masalalar yechish namunalari	82
5.7.	Mustaqil yechish uchun masalalar	99
6 – BOB.	Elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isroflarini hisoblash	102
6.1.	Elektr tarmoqlarda energiya isrofini yuklama grafigi va maksimal isroflar vaqti bo'yicha hisoblash	102
6.2.	Masalalar yechish namunalari	107
6.3.	Mustaqil yechish uchun masalalar	110
7-BOB	Elektr uzatish liniyalari o'tkazgichlarining ko'ndalang kesim yuzalarini tanlash	112
7.1.	O'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash	112
7.2.	Havo EUL o'tkazgichi ko'ndalang kesim yuzasini iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlash	116
7.3.	Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda EUL o'tkazgichining ko'ndalang kesim yuzasini ruxsat qilingan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlashning xarakterli xususiyatlari	118
7.4.	Masalalar yechish namunalari	124
7.5.	Mustaqil yechish uchun masalalar	133
8-BOB.	Elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isroflarini kamaytirish tadbirlari	135
8.1.	Taqsimlovchi elektr tarmoq holatlarini reaktiv quvvat, kuchlanish va transformaciya koefficientlari bo'yicha	

	optimallashtirish	136
8.2.	Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isroflarini kamaytirish	142
8.3.	Masalalar yechish namunalari	143
8.4.	Mustaqil yechish uchun masalalar	146
	Glossariy	147
	Adabiyotlar	150
	I Qism	152
	II Qism	157
	III Qism	170

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Введение	14
Глава 1.	Расчет параметров и схема замещения элементов электрической сети	15
1.1.	Параметры и схема замещения линии электропередачи	15
1.2.	Схема замещения трансформаторов и автотрансформаторов	19
1.3.	Решение образцов задач	24
1.4.	Самостоятельные задачи для решения	32
Глава 2.	Расчет режима открытых питающих электрических сетей	35
2.1.	Расчет режимов линий электропередачи	35
	Решение образцов задач	38
	Самостоятельные задачи для решения	47
Глава 3.	Расчет режимов распределительных электрических сетей	48
3.1.	Принимаемые упрощения для расчета распределительных электрических сетей $U_n \leq 35$	48
3.2.	Расчет наибольших потерь напряжения в распределительных электрических сетях	49

3.3	Решение образец задач	51
3.4	Самостоятельные задачи для решения	52
Глава 4.	Расчет режимов замкнутых электрических сетей	53
4.1.	Расчет узловых напряжений и перетоки мощности простых замкнутых электрических сетей	53
4.2.	Расчет распределения мощности сложных замкнутых электрических сетей	57
4.3.	Решение образец задач	60
4.4.	Самостоятельные задачи для решения	68
Глава 5.	Регулирование напряжения в электрических сетях	70
5.1.	Общие понятия	71
5.2.	Встречное регулирование напряжения	71
5.3.	Регулирование напряжения понизительных подстанций	73
5.4.	Регулирование напряжения изменением сопротивления сети	77
5.5.	Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности	80
5.6.	Решение образец задач	82
5.7.	Самостоятельные задачи для решения	99
Глава 6.	Расчет потерь мощности и энергии в электрических сетях	102
6.1.	Расчет потерь энергии по заданному графику нагрузки и продолжительности максимальных потерь	102
6.2.	Решение образец задач	107
6.3.	Самостоятельные задачи для решения	110
Глава 7.	Выбор сечения проводов линий электропередачи	112
7.1.	Выбор сечения проводов по экономической плотности тока	112
7.2.	Выбор сечения проводов воздушных линий электропередачи по экономическим интервалам.	116
7.3.	Характерные особенности выбора сечения проводов ЛЭП по допустимым потерям напряжения	118

7.4.	Решение образец задач	124
7.5.	Самостоятельные задачи для решения	133
Глава 8.	Мероприятия по уменьшению потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях	135
8.1.	Оптимизация режимов распределительных электрических сетей по реактивной мощности, напряжении и коэффициентами трансформации трансформаторов.	136
8.2.	Уменьшение потерь мощности и электроэнергии в распределительных электрических сетях	142
8.3.	Решение образец задач	143
8.4.	Самостоятельные задачи для решения	146
	Глоссарий	147
	Литература	150
	I Приложение	152
	II Приложение	157
	III Приложение	170

I N T R O D U C T I O N

	Contents	14
Chapter 1.	Calculation of parameters and the scheme of substitution of electric network elements	15
1.1.	Parameters and the scheme of substitution of a power line	15
1.2.	Scheme of substitution of transformers and autotransformers	19
1.3.	Sample task solution	24
1.4.	Independent tasks for solving	32
Chapter 2.	Calculation of the mode of open supplying electrical networks	35
2.1.	Calculation of transmission line modes	35
2.3.	Sample task solution	38
2.4.	Independent tasks for solving	47
Chapter 3.	Calculation of modes of distribution electrical networks	48

3.1.	Accepted simplifications for the calculation of electrical distribution networks $U_H \leq 35$	48
3.2.	Calculation of the largest voltage losses in distribution electrical networks	49
3.3	Sample task solution	51
3.4	Independent tasks for solving	52
Chapter 4.	Calculation of modes of closed electrical networks	53
4.1.	Calculation of nodal voltages and power flows of simple closed electrical networks	53
4.2.	Calculation of power distribution of complex closed electrical networks	57
4.3.	Sample task solution	60
4.4.	Independent tasks for solving	68
Chapter 5.	Regulation of voltage in electrical networks	70
5.1.	General concepts	71
5.2.	Counter voltage regulation	71
5.3.	Regulation of the voltage of step-down substations	73
5.4.	Voltage regulation by changing the resistance of the network	77
5.5.	Voltage regulation by changing reactive power fluxes	80
5.6.	Sample task solution	82
5.7.	Independent tasks for solving	99
Chapter 6.	Calculation of power and energy losses in electrical networks	102
6.1.	Calculation of energy losses according to a given load schedule and duration of maximum losses	102
6.2.	Sample task solution	107
6.3.	Independent tasks for solving	110
Chapter 7.	Selection of the cross-section of power transmission lines	112
7.1.	The choice of the section of wires for the economic density of current	112
7.2.	Selection of the cross-section of the wires of overhead transmission lines at economic intervals.	116

7.3.	Characteristic features of the choice of the cross-section of the power line wires for permissible voltage losses	118
7.4.	Sample task solution	124
7.5.	Independent tasks for solving	133
Chapter 8.	Measures to reduce power and electric power losses in electrical networks	135
8.1.	Optimization of modes of distribution electrical networks for reactive power, voltage and transformer transformation ratios	136
8.2.	Reduction of power and electric power losses in electric networks	142
8.3.	Sample task solution	143
8.4.	Independent tasks for solving	146
	Glossary	147
	Bibliography	150
	Appendix I	152
	Appendix II	157
	Appendix III	170

KIRISIW

Usı qollanbanıń maqseti bakalavriattıń “Elektr energetikası” hám oǵan jaqın bolǵan basqa baǵdarlarda tálim alıwshı studentlerdiń elektr tarmaqları hám sistemaları boyınsha tereń teoriyalıq bilim alıwlarında sıpatın asırıwdan ibarat. Onda pániniń tiykarǵı bólimleri qamrap alınǵan bolıp, elektr tarmaqları hám sistemaların esaplaw, rejimlerdi analizlew hám basqarıw, sonday-aq rawajlanıwın joybarlaw procesinde payda bolıwshı túrli máselelerdi hal etiw ushın zárúr teoriyalıq maǵlıwmatlar, másele sheshiw úlgileri, máseleler toplamı hám qollanba maǵlıwmatlar keltirilgen.

Qollanba quramı “Elektr tarmaqları hám sistemaları” pániniń dástúrine tolıq sáykes keledi.

Qollanbada keltirilgen materialdı ózlestiriw “Joqarı matematika”, “Fizika”, “Elektrotexnikanıń teoriyalıq tiykarları”, “Elektr energiyasın islep shıǵarıw, uzatıw hám bólistiriw” sıyaqlı pánler boyınsha alınǵan bilimlerge tayanadı.

Keltirilgen materialda túsiniwdi jeńillestiriw maqsetinde kóplep illyustrativ materiallardan paydalanıldı, pikirdi ápiwayı tárizde bayan etiwge háreket qılındı.

1 – BAP. ELEKTR TARMAQ ELEMENTLERİNİN ALMASTIRIŞ SXEMALARÍ HÁM ESAP PARAMETRLERİ

1.1 Elektr uzatıw liniyalarınıń almasırw sxemaları hám esap parametrleri

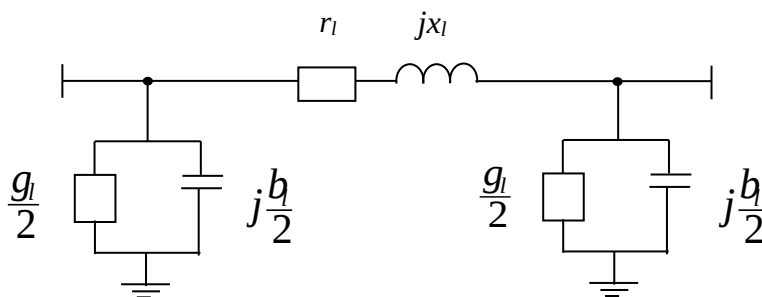
Onsha úlken bolmağan uzınlıqtağı (300-400 km ға shekem) elektr uzatıw liniyaları parametrlerin pútkil uzınlıq boyınsha bir qıylı bólistirilgen dep qaraw múmkin.

Uzınlıǵı 300-400 km ge shekem bolǵan liniyalardıń almasırw sxeması ulıwma jaǵdayda 1.1–súwretteǵıdey II-sıyaqlı kóriniste súwretlenedi. Súwrette r_l , x_l –elektr uzatıw liniyasınıń aktiv hám reaktiv qarsılıqları; g_l , b_l –elektr uzatıw liniyasınıń aktiv hám sıyımlılıq (reaktiv) ótkiziwsheńlikleri.

Aktiv qarsılıq tómendegi formula boyınsha tabıladı:

$$r_l = r_0 l, \quad (1.1)$$

bul jerde r_0 – salıstırmalı aktiv qarsılıq, Om/km (ótkizgishtiń temperaturası $+20^\circ\text{C}$ bolǵanda); l –uzatıw liniyasınıń uzınlıǵı, km.



1.1–súwret. Elektr uzatıw liniyasınıń ulıwma kórinistegi
almasırw sxeması

Ótkizgishler hám kabellerdiń aktiv qarsılıqları 50 Hz jıylıkte shama menen omik qarsılıqqa, yaǵnıy olardıń turaqlı tokqa kórsetiwshi qarsılıǵına teń boladı. Sol sebepli maydan effekti hádiysesi esapqa alınbaydı. r_0 dıń mánisleri polatalyuminiy

hám basqa reńli metallardan tayarlangan ótkizgishler ushın kese-kesim maydanlarına baylanıslı ráwishte qollanba tablicalarda keltirilgen. Ulıwma jaǵdayda, ótkizgishtiń temperaturası $+20^{\circ}\text{C}$ dan pariǵ qılǵanda, olar tuwrılaw koefficientleri kiritilgen sáykes formulalar boyınsha esaplanadı.

Reaktiv qarsılıq tómendegi formula boyınsha tabıladı:

$$x_l = x_0 l, \quad (1.2)$$

bul jerde x_0 salıstırmalı reaktiv qarsılıq, Om/km.

Elektr uzatıw liniyasınıń óz-aldına fazalarındaǵı reaktiv qarsılıqlar ulıwma jaǵdayda hár qiyılı. Simmetriyalıq jaǵdaylardı esaplawda x_0 dıń tómendegi formula boyınsha esaplanıwshı ortasha mánsinen paydalanıladı:

$$x_0 = 0,144 \lg(D_{or}/r_{ót}) + 0,0157 \quad (1.3)$$

bul jerde $r_{ót}$ – órkizgishtiń radiusı; D_{or} – faza ótkizgishleri arasındaǵı ortasha geometriyalıq aralıq:

$$D_{or} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}, \quad (1.4)$$

D_{ab}, D_{bc}, D_{ca} - sáykes faza ótkizgishleri arasındaǵı aralıqlar.

Nominal kernewi 330 kV hám onnan joqarı bolǵan elektr uzatıw liniyalarında (EUL da) faza ótkizgishleri bir neshe ótkizgishlerge ajratıladı. Bunday EUL ushın salıstırmalı aktiv qarsılıq tómendegishe tabıladı:

$$r_0 = r_{0\alpha} / n_f,$$

bul jerde $r_{0\alpha}$ - anıq kesimdeǵı ótkizgishtiń salıstırmalı qarsılıǵı.

Sonday-aq, bir neshe ótkizgishlerge ajratılǵan ótkizgishli liniyalar ushın (1.3) formuladaǵı sońǵı qurawshı $0,0157/n_f$ kóriniste boladı. Bunday jaǵdaylarda (1.3) formuladaǵı $r_{ót}$ ornına tómendegi formula boyınsha tabılıwshı ekvivalent radius r_{ek} dan paydalanıladı.

$$r_{ek} = \sqrt[n_f]{r_{\alpha} a_{or}^{n_f - 1}}, \quad (1.5)$$

bul jerde a_{or} - bir fazadaǵı ótkizgishler arasındaǵı ortasha geometriyalıq aralıq; n_f – bir fazadaǵı ótkizgishler sanı.

Polatallyuminiy ótkizgishler ushın x_0 diń mánisi liniyanıń geometriyalıq ólshemleri (yaki nominal kernewi) hám ótkizgishtiń kese-kesim maydanına baylanıslı ráwishte qollanba tablicalardan alınıwı múmkin.

EUL dıń *aktiv ótkiziwsheńligi* eki kórinistegi aktiv quwatlıq ısırapların ańlatadı: izolyatorlar arqalı aǵıp ótiwshi toklar payda qılıwshı ısıraplar hám tajlanıw sebepli júz beriwshi ısıraplar.

Izolyatorlardagı daydi toklar mánisi júda kem bolıp, olar sebepli júz beriwshi ısıraplardı esapqa almaw múmkin. Tajlanıw dárejesi ótkizgishtegi kernew hám onıń radiusına baylanıslı boladı. Sol sebepli bul ısıraptıń mánisin ruxsat etilgen aralıqta uslap turıw ushın tajlanıw boyınsha ruxsat etiliwshi eń kishi kese-kesim maydanı belgilengen. Oǵan muwapıq eń kishi kese-kesim maydanı 110 kV ushın 70 mm^2 , 220 kV ushın 240 mm^2 .

220 kV hám onnan tómen nominal kernewli tarmaqlarda liniyalardıń almastırıw sxemalarında aktiv ótkiziwsheńlikler júda kemligi sebepli itibargá alınbaydı.

EUL nıń *sıyımlılıq ótkiziwsheńligi* b_l óz-aldına faza ótkizgishleri arasında hám faza ótkizgishleri menen jer arasında payda bolıwshı sıyımlılıq effekti tásirinde júzege keledi hám tómendegishe esaplanadı:

$$b_l = b_0 l, \quad (1.6)$$

bul jerde b_0 salıstırmalı sıyımlılıq ótkiziwsheńlik bolıp, ol liniyanıń geometriyalıq ólshemleri (yakı nominal kernewi) hám ótkizgishtiń markasına baylanıslı ráwishte qollanba tablicadan anıqlanıwı yaki tómendegi formula boyınsha esaplanıwı múmkin:

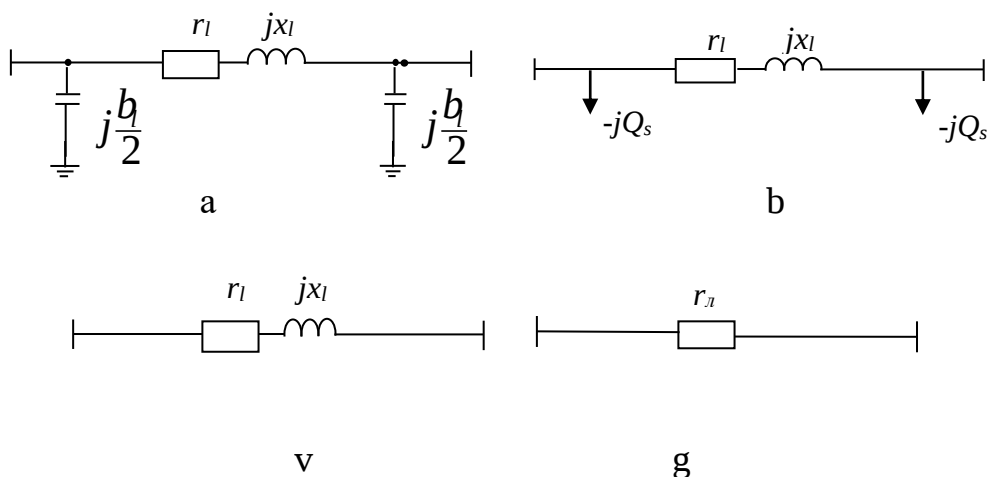
$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{\alpha}}{r_{\alpha}}} \cdot 10^{-6}. \quad (1.7)$$

Esaplawlarda úlken anıqlıq talap etilmeytuǵın jaǵdaylarda 110-120 kV kernewli EUL dıń sxemaları 1.2, b–súwrettegi sıyaqlı ápiwayı kóriniste ańlatıladı. Bul sxemada sıyımlıq ótkiziwsheńlik ornına (1.2–súwret) ol tásirinde islep

shıǵarılıwshı reaktiv quwatlıq esapqa alınadı. Bunda EUL sıyımlılıq quwatlıǵınıń yarımı tómendegishe tabıladı:

$$Q_s = 3I_s U_n = 3U_f^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_l = \frac{1}{2} U^2 b_l, \quad (1.8)$$

bul jerde U_f hám U –faza hám fazalar ara (liniya) kernewleri, kV; I_s –jer tárepke aǵıwshı sıyımlılıq toǵı bolıp, $I_s = U_f b_l / 2$.



1.2–súwret. Elektr uzatıw liniyasınıń almasırw sxeması.

a.b-110-220 kV kernewli hawa elektr uzatıw liniyaları ushın; v-35 kV hám onnan tómén kernewli hawa elektr uzatıw liniyaları ushın; g-10 kV hám onnan tómén kernewli kabelli uzatıw liniyaları ushın.

(1.8) den kórinip turıptı, EUL da islep shıǵarılıwshı reaktiv quwatlıq (zaryad quwatlıǵı) Q_s kernewdiń kvadratına tuwrı proporcional boladı.

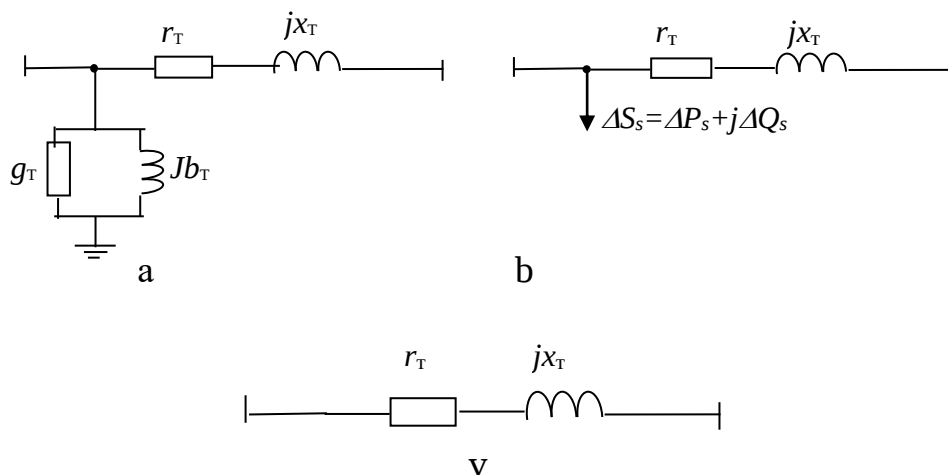
35 kV hám onnan tómén kernewdegi hawa EUL da Q_s júdá kishi bolǵanlıǵı sebepli ol hám sáykes b_l ótkiziwsheńlik itibarǵa alınbaydı (1.2, v-súwret).

Kabelli EULnıń almasırw sxemaları da ulıwma jaǵdayda hawa EULdaǵıday II-sıyaqlı kóriniste ańlatıladı (1.1-súwret). (1.3), (1.7) fomulalardan kórinip turıptı, ótkizgishlerdiń jaqınlasıwı menen x_0 kemeyedi hám b_0 artadı. Kabelli EULlarında faza ótkizgishleri aralarındaǵı aralıqlar kem bolǵanlıǵı sebepli x_0 hawa EULdaǵıǵa salıstırǵanda júdá kem boladı. Sol sebepli 10 kV hám onnan tómén nominal kernewdegi kabelli EULnıń almasırw sxemalarında x_0 itibarǵa alınbaydı (1.2, g-súwret). Aktiv ótkiziwsheńlik g_l 110 kV hám onnan joqarı kernewli kabelli EULnıń almasırw sxemalarında itibarǵa alınadı.

1.2. Transformator hám avtotransformatorlardıń almasıw sxemaları

Eki oramlı transformatordıń almasıw sxeması ulıwma jaǵdayda 1.3, a-súwretteǵıdey Γ -sıyaqlı kóriniste súwretlenedi.

Almasıw sxemasınıń boyǵa bólimi transformatordıń aktiv hám reaktiv r_t , x_t qarsılıqlarına iye. Bul qarsılıqlar sáykes ráwishte transformatordıń birlemshi hám birlemshi oramǵa keltirilgen ekilemshi oramnıń aktiv hám reaktiv qarsılıqları jıyındısına teń boladı. Usı sxemada transformasiya, yaǵnıy ideal transformator bar bolmadan, ekilemshi oramnıń qarsılıqları birlemshi oramǵa keltirilgen. Eger transformator menen baylanısqa tarmaq birgelikte kórilse hám bunda tarmaq kernewiniń bir qıylı dárejesine keltirilmegen bolsa, ol jaǵdayda transformatordıń almasıw sxemasında ideal transformator kórsetiledi



1.3-súwret. Eki oramlı transformatordıń almasıw sxeması.

a- ulıwma jaǵdaydaǵı Γ sıyaqlı almasıw sxeması;

b,v-ápiwayılastırılǵan almasıw sxemaları.

Almasıw sxemasındaǵı kóndeleń shaqabsha (magnitleniw shaqapshası) aktiv hám reaktiv ótkiziwsheńlikler g_T , b_T dan quralǵan. Aktiv ótkiziwsheńlik transformatordıń, ádette, polattan jasalıwshı ózeginde magnitlewshi tok I_μ dıń aǵıwı menen baylanıslı halda júz beriwshi aktiv quwatlıq ısırapların ańlatadı. Reaktiv ótkiziwsheńlik bolsa transformator oramlarındaǵı óz-ara induksiya magnet aǵımın menen belgilenedi.

220 kV hám onnan tómen kernewli elektr tarmaqların esaplawda transformatorlar ápiwayılastırılğan aımaştırıw sxemaları menen súwretlenedi. 110, 220 kV nominal kernewli elektr tarmaqlarda transformatordıń alımaştırıw sxemasındaǵı magnitleniw shaqapshası ornına transformator polatında (saltań islew halatında) ısırap bolıwshı quwatlıq qosımsha júkleme sıpatında esapqa alınadı. (1.3, b-súwret). 35 kV hám onnan tómen nominal kernewli tarmaqlarda bolsa, bul ısıraplar júdá kemligi sebepli ulıwma itibarǵa alınbaydı. (1.3, v-súwret)

Almaştırıw sxemasınıń parametrleri transformatordıń katalog (pasport) parametrlerinen paydalanıp esaplanadı. Bul parametrlerdiń mánisleri hár bir standart transformator ushın qollanba tablicada (sonday-aq, transformatordıń pasportında) keltiriledi. Olarǵa tómendegi parametrler kiredi: S_n – transformatordıń nominal quwatlıǵı, MVA; U_{jn} , U_{tn} –joqarı hám tómengi oramlardıń nominal kernewleri, kV; ΔP_s –salt islew jaǵdayında aktiv quwatlıq ısırabı, kVt; I_s %–saltań islew togı, I_n dan %; ΔP_q –qısqa tutasıw ısırabı, kVt; u_q %–qısqa tutasıw kernewi, U_{jn} dan %. Bul maǵluwmatlar boyınsha almaştırıw sxemasınıń barlıq parametrlerin (qarsılıqlar hám ótkiziwsheńliklerdi), sonday-aq olardaǵı ısıraplardı tabıw múmkin.

Magnitleniw shaqapshası ótkizgishleri saltań islew tájiriybesi nátiyjelerinen paydalanıp tabıladı. Bunda transformator tek saltań islew jaǵdayındaǵıǵa teń bolǵan quwatlıqtı ısırap qıladı:

$$\Delta S_s = \Delta P_s + j\Delta Q_s.$$

Bunnan kelip shıǵıp , ótkiziwsheńlikler tómendegi ańlatpalar boyınsha tabıladı:

$$g_T = \Delta P_s / U_n^2 \quad (1.9)$$

$$b_T = \Delta Q_s / U_n^2, \quad (1.10)$$

Transformatorda magnitlew togı júdá kishi aktiv qurawshıǵı iye, sol sebepli:

$$I_\mu = I_s \approx I_s'',$$

bul jerde I_s'' - I_s nıń reaktiv qurawshısı.

Joqarıdaǵıdan

$$\Delta Q = 3I_s U_{fn} \approx 3I_c U_{fn} = 3 \cdot \frac{I_s \% I_r}{100} \cdot U_{fn} = \frac{I_c \% S_n}{100}. \quad (1.11)$$

Transformatorlardın r_T hám x_T qarsılıqları qısqa tutasıw tájiriybesi nátiyjelerinen paydalanıp tabıladı. Bul tájiriybede transformatordıń ekilemshı oramı qısqa tutastırıladı hám birlemshı oramına hár eki oramlarda nominal toklar ağıwın támiynlewshı kernew beriledi. Bul kernew qısqa tutasıw kernewi u_q dep júritiledi. Qısqa tutasıw jaǵdayında u_q U_n ǵa salıstırǵanda júdá kishi bolǵanlıǵı sebepli magnitleniw shaqapshasında ısırap bolıwshı quwatlıq ta júdá kishi boladı hám ısırap bolıwshı quwatlıqtıń barlıǵı oramda júz beredi, yaǵnıy

$$\Delta P_q = 3I_n^2 r_T = \frac{S_n^2}{U_n^2} r_T \quad \text{hám} \quad r_T = \frac{\Delta P_q U_r^2}{S_r^2}. \quad (1.12)$$

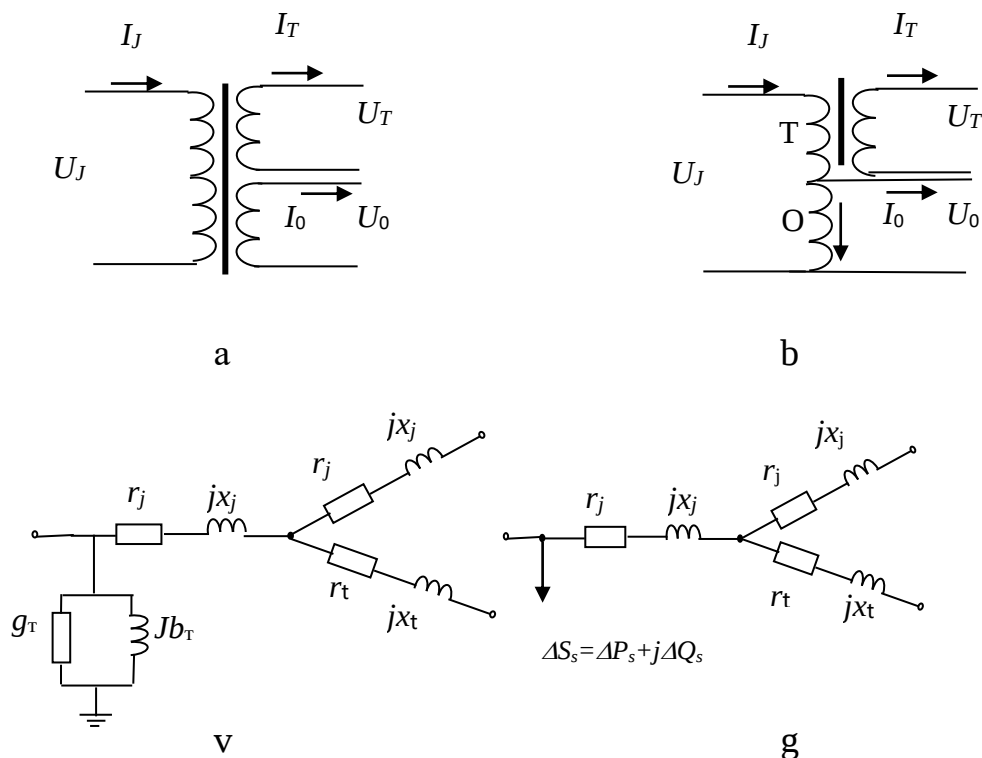
Zamanagóy úlken quwatlıqlı transformatorlarda $r_T \ll x_T$ hám sol sebepli $u_q \approx u_q''$. Qısqa tutasıw tájiriybesinen

$$u_q = \frac{u_q \% U_n}{100} \approx \sqrt{3} I_n x_T \quad \text{hám} \quad x_T = \frac{u_q \% U_r}{100 S_r}. \quad (1.13)$$

Úsh oramlı transformatorlar hám avtotransformatorlar. Kóp jaǵdaylarda podstanciyada úsh nominal kernew –joqarı U_j , orta U_o , hám tómén U_t kernewler talap etiledi. Bunday jaǵdaylarda úsh oramlı transformator yaki úsh oramlı avtotransformatorlardan paydalanıw ekonomikalıq jaqtan maqsetke muwapıq. Úsh oramlı transformatordıń oramları óz-ara magnitlik baylanısta boladı (1.4, a-súwret). Úsh oramlı avtotransformatorlarda bolsa oramlar arasında magnitlik baylanıstan tısqarı elektrlik baylanısta bar. Olarda, ádette, orta oram joqarı oramnıń bir bólegin quraydı. Bul oramlardıń óz-ara ulıwma bolǵan bólegi ulıwma (U) hám qalǵan –ulıwma bolmaǵan bólegi izbe-iz (K) oram dep júritiledi. Solay etip, tómengi oram qalǵan eki oramlar menen magnitlik baylanısta, izbe-iz hám ulıwma oramlar bolsa bir-biri menen óz-ara elektrlik hám magnitlik baylanısta boladı (1.4, b-súwret). Avtotransformatordıń izbe-iz oramı boylap I_j tok aqsa, onıń ulıwma oramı boylap $I_j - I_o$ tok aǵadı.

Avtotransformatordın nominal quwatlıǵı dep onıń normal islew shárayatında joqarı hám orta kernew tarmaqlarınan alıwı yaqı olarǵa uzatıwı mumkin bolǵan eń úlken quwatlıqqa aytıladı:

$$S_n = \sqrt{3} U_{jn} I_{jn}. \quad (1.14)$$



1.4-súwret. Úsh oramlı transformator hám avtotransformatordın sxemaları.

a, b–oramlardın tutasıw sxemaları; v, g– Γ sıyaqlı hám ápiwayılastırılǵan almastırıw sxemaları.

Bul quwatlıq, sonday-aq, *ótiw quwatlıǵı* dep te júritiledi. Ótiw quwatlıǵı dep avtotransformatordın tómengi oramında júkleme bolmaǵan jaǵdayda joqarı kernew tarmaǵınan orta kernew tarmaǵına yaqı keri baǵıtta uzatıw mımkin bolǵan eń úlken quwatlıqqa aytıladı.

Avtotransformatordın izbe-iz oramı K tip quwatlıǵına móljellenedi. Bul quwatlıq nominal parametrler arqalı tómendegishe ańlatıladı:

$$S_{ip} = \sqrt{3}(U_{JN} - U_{QN})I_{JN} = \sqrt{3}U_{JN}I_{JN}\left(1 - \frac{U_{QN}}{U_{JN}}\right) = \alpha S_n, \quad (1.15)$$

bul jerde $\alpha = 1 - U_{QN}/U_{JN}$ - abzallıq koefficienti bolıp, ol S_{ip} tiń S_n ge qatnasın kórsetedi.

Joqarıdağı tártipte ulıwma oramnıń quwatlıǵı da tip quwatlıǵına teń ekenligin dálillew múmkin. Tómen kernew oramı da tip quwatlıǵı yaqı onnan kishi quwatlıqqa móljellenedi. Ol nominal quwatlıq arqalı tómendegishe ańlatıladı:

$$S_m = \alpha_m S_n, \quad (1.16)$$

bul jerde $U_{jn} \leq 330$ kV bolǵan jaǵdaylarda $\alpha_m = 0,25; 0,4; 0,5$ bolıwı múmkin.

$U_n > 220$ kV bolǵan jaǵday ushın úsh oramlı transformator hám avtotransformatordıń almasıw sxeması 1.4, v–súwrette, $U_n \leq 220$ kV bolǵan jaǵday ushın bolsa 1.4, g–súwrette kórsetilgen. Usı jaǵdayda da saltań islewde ısırap bolıwshı quwatlıqlar ΔP_s hám ΔQ_s eki oramlı transformatorlardagı sıyaqlı esaplanadı. Úsh oramlı transformator hám avtotransformatorlar ushın qısqa tutasıw ısırapları hám kernewleri úsh oramlar juplıqları ushın, yaǵnıy $\Delta P_{q(j-o)}$, $\Delta P_{q(j-t)}$, $\Delta P_{q(o-t)}$ hám $u_{q(j-o)}\%$, $u_{q(j-t)}\%$ hám $u_{q(o-t)}\%$ kórinisinde beriledi. Hár bir ΔP_q hám $u_q\%$ múmkin bolǵan úsh tájiriybeniń birine tiyisli boladı. Mısalı, $\Delta P_{q(j-t)}$ hám $u_{q(j-t)}$ lerdiń mánisleri tómengi oram qısqa tutastırılǵan orta oram saltań islew halatında bolǵan, joqarı oramǵa tómengi oram arqalı nominal tok aǵıwın tómeynlewshi $u_{q(j-t)}$ kernew berilgen jaǵdayda ańıqlanadı. Bunday jaǵdayda, tap eki oramlı transformatorlar sıyaqlı.

$$r_j + r_o = \Delta P_{q(j-o)} U_n^2 / S_n^2, \quad (1.17)$$

$$r_j + r_q = \Delta P_{q(j-t)} U_n^2 / S_n^2, \quad (1.18)$$

$$r_o + r_t = \Delta P_{q(o-t)} U_n^2 / S_n^2. \quad (1.19)$$

(1.17)–(1.19) teńlemelerde úsh belgisiz aktiv qarsılıqlar bar. Olardı sistema qılıp sheshiw tiykarında qarsılıqlar ushın ańlatpalargá iye bolamız:

$$r_j = \frac{\Delta P_q U_n^2}{S_j^2}, \quad r_o = \frac{\Delta P_{qo} U_n^2}{S_n^2}, \quad r_t = \frac{\Delta P_q U_n^2}{S_n^2},$$

bul jerde ΔP_{qj} , ΔP_{qo} , ΔP_{qt} ler tómendegi formulalar boyınsha tabıladı:

$$\Delta P_{qj} = 0,5(\Delta P_{q(j-o)} + \Delta P_{q(j-t)} - \Delta P_{q(o-t)}), \quad (1.20)$$

$$\Delta P_{qo} = 0,5(\Delta P_{q(j-o)} + \Delta P_{q(o-t)} - \Delta P_{q(j-t)}), \quad (1.21)$$

$$\Delta P_{qt} = 0,5(\Delta P_{q(j-t)} + \Delta P_{q(o-t)} - \Delta P_{q(j-o)}). \quad (1.22)$$

$u_{q,j}\%$ $u_{q,o}\%$ $u_{q,t}\%$ lar da usı sıyaqlı esaplanadı:

$$u_{q,j}\% = 0,5(u_{q(j-o)}\% + u_{q(j-t)}\% - u_{q(o-t)}\%), \quad (1.23)$$

$$u_{q,o}\% = 0,5(u_{q(j-o)}\% + u_{q(o-t)}\% - u_{q(j-t)}\%), \quad (1.24)$$

$$u_{q,t}\% = 0,5(u_{q(j-t)}\% + u_{q(o-t)}\% - u_{q(j-o)}\%). \quad (1.25)$$

$u_{q,j}\%$ $u_{q,o}\%$ $u_{q,t}\%$ lardıń tabılǵan mánislerinen paydalanıp, tómendegi formulalar boyınsha hár bir oramnıń reaktiv qarsılıǵı esaplanadı:

$$x_j = \frac{u_{q,j}\% \cdot U_n^2}{100S_n}, \quad x_o = \frac{u_{q,o}\% \cdot U_n^2}{100S_n}, \quad x_t = \frac{u_{q,t}\% \cdot U_n^2}{100S_n}.$$

1.3. Máseleler sheshiwge úlgiler

1.1-másele. Kese-kesim maydanı 10 mm^2 bolǵan mıs tamırlı kabeldan tayarlanǵan 5 km uzınlıqtaǵı 6 kV nominal kernewli liniyanıń salıstırmalı parametrlerin tabıń. Almastırıw sxemasın qurıń hám onıń esap parametrlerin tabıń.

Sheshiliwi. Berilgen kese-kesim maydanlı hám nominal kernewli kabeldan tayarlanǵan liniyanıń salıstırmalı parametrlerin qollanba tablıcalar boyınsha anıqlaymız:

$$r_0 = 1,84 \text{ Om/km}, \quad x_0 = 0,11 \text{ Om/km}, \quad b_0 = 63 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$$

Almastırıw sxemasınıń esap parametrlerin tabamız:

$$r_l = 1,84 \cdot 5 = 9,2 \text{ Om}$$

$$x_l = 0,11 \cdot 5 = 0,55 \text{ Om}$$

$$b_l = 63 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 315 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$$

Almastırıw sxemasında sıyımlılıq ótkiziwsheńlikti esapqa alınıwınıń qanshelli dárejede maqsetke muwapıqlıǵın bahalaw ushın bul ótkiziwsheńlikte islep shıǵarılıwshı zaryad quwatlıǵın esaplaymız:

$$Q = U^2 b = 6^2 \cdot 315 \cdot 10^{-6} = 11340 \cdot 10^{-6} \text{ MVAR} = 11,34 \text{ kVAR}$$

Kórilip atırǵan kabel ushın qızıw shártleri boyınsha ruxsat etilgen toktı qollanba tablıcaları boyınsha anıqlaw mǵmkin: 80 A .

$$S_{mks} = \sqrt{3} U_{nom} I_{mks} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 80 = 830 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

Buǵan sáykes ráwishte,

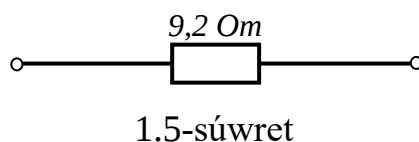
$$\frac{Q_s}{S_{mks}} = \frac{11,34 \cdot 100}{830} = 1,4\%$$

Zaryad quwatlıǵınıń payda bolǵan mánisi almastırıw sxeması tiykarında orınlanıwshı esaplaw nátiyjelerine sezilerli tásir kórsete almaydı. Sol sebepli bul quwatlıqtı itibarǵa almaw hám almastırıw sxemasınan sıyımlılıq ótkiziwsheńlikti alıp taslaw múmkin.

Induktiv qarsılıq ushın tómendegige iye bolamız:

$$\frac{x_l}{r_l} = \frac{0,55 \cdot 100}{9,2} = 6\%$$

Bunday kishi salıstırmalı mániske iye bolǵanda induktiv qarsılıqtı da almastırıw sxemasınan alıp taslaw múmkin. Buǵan sáykes halda kórilip atırǵan másele ushın liniyanıń almastırıw sxeması tek ǵana $r_l = 9,2 \text{ Om}$ (1.5-súwret) aktiv qarsılıqtan ibarat qılıp súwretleniwi lazım.



1.2-másele. Ótkizgishleri aralarındaǵı aralıq $D_{AB} = D_{BC} = 4 \text{ m}$ bolǵan II sıyaqlı tayanshlarda jaylasqan, AC 150/24 markalı ótkizgishten tayarlangan 110 kV kernewli 50 km uzınlıqtaǵı eki shınjırlı liniyanıń almastırıw sxemasın qurıń hám parametrlerin esaplań.

Seshiliwi: AC 150/24 markalı ótkizgishtiń salıstırmalı aktiv qarsılıǵı mánisi hám diametrini qollanba tablica boyınsha anıqlaymız: $r_0 = 0,198 \text{ Om/km}$, $d_{0l} = 2r_{0l} = 17,1 \text{ mm}$. Liniyanıń ótkizgishleri aralarındaǵı ortasha geometriyalıq aralıqtı tabamız:

$$D_{or} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AC}} = \sqrt[3]{4 \cdot 4 \cdot 8} = 5,04 \text{ m} = 5040 \text{ mm}.$$

Liniyanıń salıstırmalı induktiv qarsılıǵı hám salıstırmalı sıyımlılıq ótkiziwsheńligin esaplaymız:

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg \frac{D_\alpha}{r_\alpha} + 0,157 = 0,144 \cdot \lg \frac{5040}{8,55} + 0,157 = 0,416 \text{ Om/km};$$

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\lg \frac{5040}{8,55}} = 2,74 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$$

AC 150/24 markalı ótkizgish ushın $D_{or}=5040 \text{ mm}$ bolǵan jaǵdayda qıdırılıp atırǵan parametrlerdı qollanba tablicaları boyınsha tikkeley anıqlaw múmkin: $x_0=0,42 \text{ Om/km}$, $b_0=2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$. x_0 hám b_0 lardıń mánislerin esaplawǵa salıstırmalı qollanba tablicalarınan paydalanıp anıqlaw qolay hám usı sebepli olardan paydalanıw maqsetke muwapıq. Kórilip atırǵan jaǵdayda salıstırmalı parametrlerinín qatnası

$$\frac{r_0}{x_0} = \frac{0,198}{0,42} = 0,471 \text{ ǵa teń,}$$

yaǵnıy $r_0 < x_0$. Bunday qatnas $U_{nom}=110 \text{ kV}$ bolǵan hawa liniyası ushın xarakterli boladı.

Uzınlıǵı 50 km bolǵan eki shınjırlı liniyanıń almasıw sxeması parametrlerin tabamız:

$$r_l = 0,5 \cdot 0,198 \cdot 50 = 4,95 \text{ Om};$$

$$x_l = 0,5 \cdot 0,42 \cdot 50 = 10,5 \text{ Om};$$

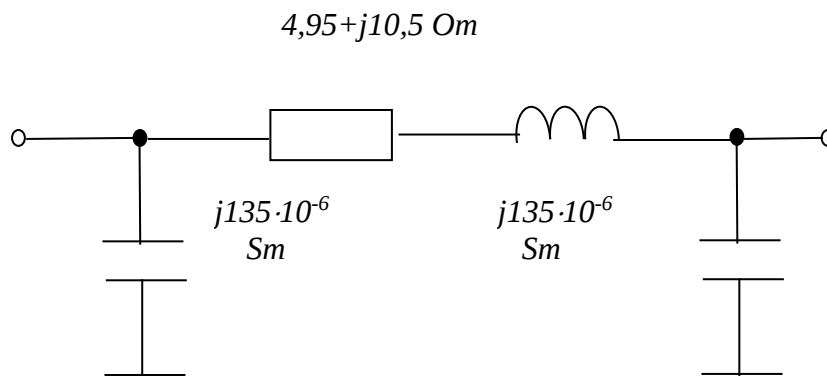
$$b_l = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 270 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}.$$

Liniyanıń ulıwma sıyımlılıq ótkiziwsheńliginde islep shıǵarılıwshı zaryad quwatlıǵınıń shama menen mánisi:

$$Q_s = 110^2 \cdot 270 \cdot 10^{-6} = 3,27 \text{ MVAR}.$$

Bunday quwatlıq liniyanıń jaǵdayın esaplawda itibarǵa alınıwı shárt.

Aktiv ótkiziwsheńlikti itibarǵa almaw múmkin, sebebi AC 150/24 markalı sımnıń diametri $17,1 \text{ mm}$ bolıp, ol tajlanıw shártleri boyınsha minimal ruxsat etilgen diametrdan úlken. Sol sebepli kórilip atırǵan liniyanıń almasıw sxemasında aktiv hám induktiv qarsılıqlar hámde sıyımlılıq ótkiziwsheńlikler bolıwı shárt (1.6-súwret).



1.6-súwret

1.3-másele. II-sıyaqlı tayanshlarda jaylasıp, 3*AC 500/64 ótkizgishlerden tayarlangan 500 kV kernewli hawa liniyasınıń salıstırmalı parametrlerin tabıń hám uzınlıǵı 200 km bolǵan liniyanıń almastırw sxeması parametrlerin esaplań.

Ótkizgishler gorizantal tegislikte jaylasıp, fazalar aralarındaǵı aralıq $D_{AB}=D_{BS}=12 \text{ m}$; bir fazadaǵı ótkizgishler aralarındaǵı aralıq $a_{12}=a_{23}=a_{13}=40 \text{ sm}$. Tajlanıw sebepli ısırap bolıwshı jıllıq ortasha quwatlıqtıń salıstırmalı mánisi $\Delta P_{\text{taj},0}=7,5 \text{ kBt/km}$.

Sheshiliwi. AC 500/64 markalı bir sım ushın $r_{0\text{ót}}=0,06 \text{ Om/km}$; sımınıń diametri $d_{\text{ót}}=2 \text{ r}_{\text{ót}}=30,6 \text{ mm}$. Ajratılǵan ótkizgish ushın

$$r_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,06 = 0,02 \text{ Om/km}$$

Ótkizgishtiń ekvivalent radiusı:

$$r_{ek} = \sqrt[n]{r_{\alpha} \cdot a_{\alpha}^{n-1}} = \sqrt[3]{153 \cdot 40^2} = 134 \text{ mm}.$$

Faza ótkizgishleri aralarındaǵı ortasha geometriyalıq aralıq:

$$D_{or} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AC}} = \sqrt[3]{12 \cdot 12 \cdot 24} = 15,1 \text{ m} = 15100 \text{ mm}.$$

Salıstırmalı induktiv qarsılıq, sıyımlılıq hám aktiv ótkiziwsheńliklerdi tabamız:

$$\begin{aligned} x_0 &= 0,144 \lg \frac{D_{or}}{r_{ek}} + \frac{r_{0\alpha}}{n} = 0,144 \lg \frac{15100}{134} + \frac{0,0157}{3} = \\ &= 0,295 + 0,0052 = 0,3 \text{ Om/km} \\ b_0 &= 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\lg \frac{D_{or}}{r_{ek}}} = 3,68 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km} \end{aligned}$$

$$g_0 = \frac{\Delta P_{tg,0}}{U_{nom}^2} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{500^2} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ Sm/km}$$

1.2-máseledegi kórilip ótilgen bólistiriwshi elektr tarmaqlarınan parıqlı túrde 500 kV kernewli elektr uzatıw liniyası ushın tómendegi qatnas xarakterli boladı:

$$\frac{x_0}{r_0} = \frac{0,30}{0,02} = 15 \gg 1.$$

Uzunlıǵı 200 km bolǵan liniyanıń almasırw sxeması parametrleri:

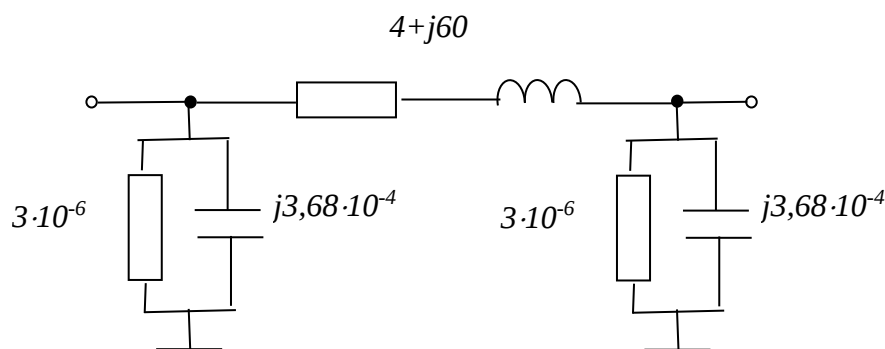
$$r_l = r_0 l = 0,02 \cdot 200 = 4 \text{ Om}$$

$$x_l = x_0 l = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ Om}$$

$$b_l = b_0 l = 3,68 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 7,36 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$

$$g_l = g_0 l = 3 \cdot 10^{-8} \cdot 200 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

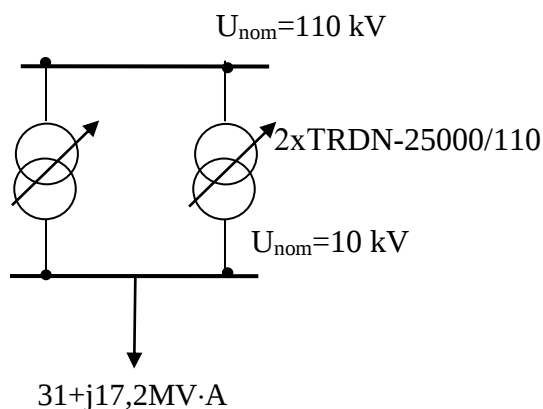
Liniyanıń almasırw sxemasın quramız (1.7-súwret):



1.7-súwret

1.4-másele. Podstanciyada nominal quwatlıǵı 25 MVA bolǵan eki TRDN tipindgi páseytiriwshi transformatorlar ornatılǵan (1.8-súwret). Trnasformatorlar úsh fazalı eki oramlı bolıp, tómendegi katalog (pasport) parametrlerine iye: $S_{nom}=25 \text{ MVA}$; $U_{jn}=115 \text{ kV}$; $U_{tn}=10,5 \text{ kV}$; $u_q=10,5\%$; $\Delta P_s=27 \text{ kVt}$; $\Delta P_q=120 \text{ kVt}$; $I_s=0,7\%$.

Eki parallel halda islewshi transformatorlar almasırw sxemasınıń joqarı kernew tárepke keltirilgen parametrlerin tabıń hám júkleme $S_n=31+j17,2 \text{ MVA}$ bolǵanda olardaǵı quwatlıq ısırabın esaplań.



1.8-súwret

Sheshiliwi. Eki oramlı transformatordıń almasıw sxeması 1.9-súwrette kórsetilgen. Bir transformator ushın onıń parametrlerin tabamız:

$$r_{T1} = \frac{\Delta P_q \cdot U_{jn}^2}{S_{nom}^2} = \frac{0,12 \cdot 115^2}{25^2} = 2,54 \text{ } \Omega$$

$$x_{T1} = \frac{u_q \cdot U_{jn}^2}{100 \cdot S_{nom}} = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 55,54 \text{ } \Omega$$

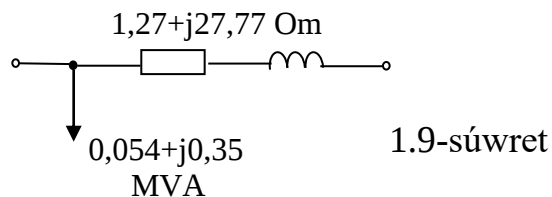
$$\Delta Q_x = \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 0,175 \text{ MVAR}$$

Eki parallel halda islewshi transformatorlar ushın:

$$r_T = \frac{2,54}{2} = 1,27 \text{ } \Omega$$

$$x_T = \frac{55,54}{2} = 27,77 \text{ } \Omega$$

$$\Delta P_s + j\Delta Q_s = 2 \cdot (0,027 + j0,175) = 0,054 + j0,35 \text{ MV} \cdot \text{A}$$



1.9-súwret

Almasıw sxemasınıń tabılǵan parametrleri boyınsha transformatordaǵı quwatlıq ısırabın esaplaymız:

$$\Delta P_T = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{nom}^2} r_T + \Delta P_x = \frac{31^2 + 17,2^2}{110^2} \cdot 1,27 + 0,054 =$$

$$= 0,132 + 0,054 = 0,186 \text{ MW};$$

$$\Delta Q_T = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{nom}^2} x_T + \Delta Q_x = \frac{31^2 + 17,2^2}{110^2} \cdot 27,77 + 0,35 =$$

$$= 2,884 + 0,35 = 3,23 \text{ MVAR}$$

Quwatlıq ısırabı sonday-aq, katalog maǵluwmatları boyınsha da tikkeley anıqlanıwı múmkin:

$$\Delta P_T = 0,5 \cdot \Delta P_q \cdot \frac{S_n^2}{S_{nom}^2} + 2 \cdot \Delta P_x = 0,5 \cdot 0,12 \cdot \frac{(31^2 + 17,2^2)}{25^2} + 2 \cdot 0,027 =$$

$$= 0,132 + 0,054 = 0,186 \text{ MW};$$

$$\Delta Q_T = 0,5 \cdot \frac{u_q}{100} \cdot \frac{S_n^2}{S_{nom}^2} + 2 \cdot \frac{I_x}{100} \cdot S_{nom} = 0,5 \cdot \frac{10,5}{100} \left(\frac{31^2 + 17,2^2}{25} \right) +$$

$$+ 2 \cdot \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 2,884 + 0,35 = 3,234 \text{ MVAR}$$

Podstanciyada ornatılǵan transformatorlardagı ısıraplar olardıń nominal quwatlıqlarına salıstırǵanda tómendegi muǵdarlardı quraydı:

$$\Delta P_{T*} = \frac{0,186 \cdot 100}{2 \cdot 25} = 0,372\%$$

$$\Delta Q_{T*} = \frac{3,23 \cdot 100}{2 \cdot 25} = 6,46\%$$

Bul jerdegi birinshi nátiyje transformatorlardıń PJK joqarılıǵın xarakterleydi. ΔQ_T nıń salıstırmalı úlken muǵdardalıǵı elektr tarmaqlarında transformatorlar reaktiv quwatlıqtı kóp muǵdarda ısırap qılıwın kórsetedi.

1.5-másele. TDTN-25000/220 tiptegi úsh fazalı úsh oramlı transformator almasıw sxemasınıń joqarı kernew tárepke keltirilgen parametrlerin tabıń.

Sheshiliwi. Qollanba tablicadan TDTN-25000/220 tipindegi transformatordıń katalog parametrlerin alamız: $S_{nom}=25 \text{ MVA}$; $U_{jn}=230 \text{ kV}$; $U_{on}=38,5 \text{ kV}$; $U_{tn}=11 \text{ kV}$; $u_{q(j-n)}=12,5\%$; $u_{q(j-t)}=20\%$; $u_{q(o-t)}=6,5\%$; $\Delta P_q=135 \text{ kVt}$; $\Delta P_s=50 \text{ kVt}$; $I_s=1,2\%$,

Oramnıń quwatlıqlar qatnası: 100/100/100%.

Transformatorning úsh nurlı juldızsha kórinisindegi almasırw sxemasın (1.10-súwret) joqarı kernew oramı nominal kernewge keltirilgen aktiv qarsılıqların anıqlaymız:

$$r_j = r_o = r_t = \frac{\Delta P_q \cdot U_{jn}^2}{2 \cdot S_{nom}^2} = \frac{0,135 \cdot 230^2}{2 \cdot 25^2} = 5,713 \text{ } \Omega$$

Almasırw sxeması nurları juplıgınıń ulıwma induktiv qarsılıgı tómendegishe tabıladı:

$$x_{J-O} = \frac{12,5}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 264,5 \text{ } \Omega$$

$$x_{J-T} = \frac{20}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 423,2 \text{ } \Omega$$

$$x_{O-T} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 137,54 \text{ } \Omega$$

Almasırw sxemasınıń hár bir nurlı induktiv qarsılıqların

$$\begin{cases} x_J + x_O = x_{J-O}; \\ x_J + x_T = x_{J-T}; \\ x_O + x_T = x_{O-T} \end{cases}$$

shártlerden paydalanıp tómendegishe tabamız:

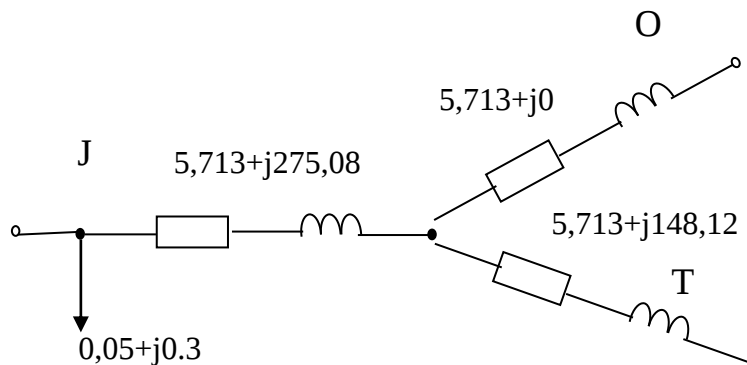
$$x_J = 0,5 \cdot (264,5 + 423,2 - 137,54) = 275,08 \text{ } \Omega$$

$$x_O = 0,5 \cdot (264,5 + 137,54 - 423,2) \approx 0$$

$$x_T = 0,5 \cdot (137,54 + 423,2 - 264,5) = 148,12 \text{ } \Omega$$

Transformatorning saltań islew ısırapların anıqlaymız:

$$\Delta P_s + j\Delta Q_s = 0,05 + j \frac{12}{100} \cdot 25 = 0,05 + j0,3 \text{ } \text{MVA}$$



1.10-súwret

1.4 Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler

1. Kese-kesim maydanı 25 mm^2 bolǵan mıs talshıqlı kabeldan qurılǵan 6 kV nominal kernewli 4 km uzınlıqtaǵı elektr uzatıw liniyasınıń almasırw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Máseleni sheshiwde mıs talshıqtıń nominal kese-kesim maydanın 1 mm^2 qa keltirilgen salıstırmalı aktiv qarsılıǵı $\rho = 18,8 \text{ om.mm}^2/\text{km}$ qabıl qılınsın.

2. Kese-kesim maydanı 50 mm^2 bolǵan alyuminiy talshıqlı kabeldan qurılǵan 10 kV nominal kernewli 6 km uzınlıqtaǵı elektr uzatıw liniyasınıń almasırw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Máseleni sheshiwde alyuminiy talshıǵınıń nominal kese-kesim maydanın 1 mm^2 qa keltirilgen salıstırmalı aktiv qarsılıǵı $\rho = 31,5 \text{ Om.mm}^2/\text{km}$ qabıl qılınsın.

3. Kese-kesim maydanı 150 mm^2 bolǵan mıs tamırlı qaǵaz izolyasiyalı kabeldan qurılǵan 35 kV nominal kernewli 15 km uzınlıqtaǵı elektr uzatıw liniyasınıń almasırw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Máseleni sheshiwde bul kabel ushın salıstırmalı parametrleriniń mánisleri qollanba tablicadan (qosımshada keltirilgen) alınsın.

4. AC-50/8 markalı polatalyuminiy sımnan tayarlanǵan 10 kV nominal kernewli 20 km uzınlıqtaǵı hawa elektr uzatıw liniyasınıń almasırw sxemasın qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Liniya temir-beton tayanshlardan qurılıp, faza ótkizgishleri tárepi 1,5 m bolǵan teń tárepli úshmúyeshliktiń ushlarında jaylasqan. Ótkizgishtiń salıstırmalı aktiv qarsılıǵı $r_0 = 0,653 \text{ Om/km}$.

5. AC-70/11 markalı polatalyuminiy ótkizgishten tayarlanǵan 35 kV nominal kernewli 30 km uzınlıqtaǵı hawa elektr uzatıw liniyasınıń almasırw sxemasın qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Liniya ótkizgishleri bir gorizantal tegislikte jaylasıp, qońsı fazalar ortasındaǵı aralıq 3 m di quraydı. Ótkizgishtiń salıstırmalı aktiv qarsılıǵı $r_0=0,428$ Om/km.

6. 110 kV nominal kernewli AC-185/29 markalı ótkizgishten tayarlanǵan 45 km uzınlıqtaǵı eki shınjırlı hawa liniyasınıń almasırw sxemasın qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Liniyanıń salıstırmalı esap parametrleri qollanba tablicadan alınsın.

7. 220 kV nominal kernewli AC-300/39 markalı ótkizgishten tayarlanǵan 55 km uzınlıqtaǵı hawa liniyasınıń almasırw sxemasın qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Liniyanıń salıstırmalı esap parametrleri qollanba tablicadan alınsın.

8. 330 kV nominal kernewli 2xAC-500/64 markalı ótkizgishten tayarlanǵan 150 km uzınlıqtaǵı hawa liniyasınıń almasırw sxemasın qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Liniyada tajlanıw sebepli ısırap bolıwshı salıstırmalı aktiv quwatlıqtıń jıllıq ortasha mánisi $\Delta P_{taj}=4$ kBt/km di quraydı. Bir fazadaǵı ótkizgishler arasındaǵı aralıq 40 sm.

Liniyanıń salıstırmalı esap parametrleri qollanba tablicadan alınsın.

9. Tómendegi katalog parametrlerine iye bolǵan TM-400/10 tiptegi eki oramlı transformatordıń almasırw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

$S_{nom}=400$ kVA, $U_{jn}=10$ kV, $U_m=0,4$ kV, $u_q=4,5\%$, $\Delta P_q=5,7$ kVt, $\Delta P_c=1$ kVt, $I_s=2,5\%$.

10. Tómendegi katalog parametrlerine iye bolǵan TDN-16000/35 tipindegi eki oramlı transformatordıń almasırw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń:

$S_{nom}=16000$ kVA, $U_{jn}=36,75$ kV, $U_m=10,5$ kV, $u_q=8\%$, $\Delta P_q=90$ kVt, $\Delta P_s=21$ kVt, $I_s=0,75\%$.

11. Padstanciyada eki TRDN-32000/110 tipindeki eki oramlı transformatorlar parallel halda islemekte. Olardıń ekvivalent almastırıw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Transformatordıń katalog parametrleri qollanba tablicadan alınsın.

12. Podstanciyada eki TRDN-63000/220 tipindeki eki oramlı transformatorlar parallel halda islemekte. Olardıń ekvivalent almastırıw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Transformatordıń katalog parametrleri qollanba tablicadan alınsın.

13. Padstanciyada eki TRDN-40000/220 tipindeki úsh oramlı transformatorlar parallel halda islemekte. Olardıń ekvivalent almastırıw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Transformatordıń katalog parametrleri qollanba tablicadan alınsın.

14. ATDCN-125000/220/110 tipindeki úsh oramlı avtotransformatordıń almastırıw sxemasın tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

Transformatordıń katalog parametrleri qollanba tablicadan alınsın.

15. Tómendegi katalog parametrlerine iye bolǵan TDC-400000/500 tiptegi eki oramlı transformatordıń almastırıw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

$S_{nom}=400 \text{ MBA}, U_{jn}=525 \text{ kV}, U_{tn}=20 \text{ kV}, u_q=12,5\%, \Delta P_q=940 \text{ kVt}, \Delta P_s=370 \text{ kVt}, I_s=0,35\%.$

16. Podstanciyada tómendegi katalog parametrlerine iye bolǵan ATDCTN-320000/500/220 tipindeki eki úsh oramlı avtotransformatorlar parallel halda islemekte. Olardıń ekvivalent almastırıw sxemasın, tarmaq jaǵdayın esaplaw maqsetinde qurıń hám esap parametrlerin tabıń.

$S_{nom}=320 \text{ MBA}, U_{jn}=500 \text{ kV}, U_{on}=230 \text{ kV}, U_{tn}=10,5 \text{ kV}, u_{q.(j-o)}=10,5\%, u_{q.(j-t)}=27,5\%, u_{q.(o-t)}=17\%, \Delta P_q=550 \text{ kVt}, \Delta P_s=220 \text{ kVt}, I_s=0,45\%.$

Oramlardıń nominal quwatlıqları ortasındaǵı qatnaslar: 100%/100%/37,5%.

2 – BAP. TÁMIYINLEWSHI ASHÍQ ELEKTR TARMAQLARÍNÍN JAĞDAYLARÍN ESAPLAW

2.1 Elektr uzatıw liniyalarınıń jaǵdayların esaplaw

Aqırında jalǵanǵan júkleme togı hám kernewi belgili bolǵan EUL jaǵdayın esaplaw. Ashıq elektr tarmaqlarınıń normal jaǵdayın esaplaw tiykarları menen tanısıwdı aqırında júkleme togı hám kernewi belgili bolǵan liniya (2.1-súwret) halatın esaplaw usılın kórip shıǵıwdan baslaymız.

Solay etip, sxeması 2.1-súwrette keltirilgen liniya 1 hám 2 puktlerdi tutastırıp, onıń barlıq esap parametrleri, yaǵnıy liniya qarsılıǵı $Z_{12}=r_{12}+jx_{12}$, sıyımlılıq ótkiziwsheńlik b_{12} , hámde júkleme togı I_2 hám kernewi U_2 ler belgili dep oylaymız.

Bunday halda jaǵdaydı esaplaw nátiyjesinde anıqlanıwshı parametrlar bolıp U_1 , I_1 , -EUL basındaǵı kernew hám tok, I_{12} -EUL nıń boyǵa bólimindegi tok, ΔS_{12} -EUL daǵı quwatlıq ısırabı esaplanadı.

Bunday jaǵdayda barlıq belgisizlerdiń mánisleri EUL nıń aqırınan basına qarap izbe-iz túrde anıqlanadı. Tok hám kernewdi anıqlawda Om hám Kirxgof nızamlarınan paydalanıladı.

Esaplawdı faza kernewi U_f hám togı I boylap alıp baramız. EUL aqırındaǵı sıyımlılıq togın Om nızamı boyınsha tabamız:

$$I_{s2}=jU_{2f}b_{12}/2. \quad (2.1)$$

EUL boyǵa bólimindegi tok Kirxgoftıń birinshi nızamı boyınsha tabıladı:

$$I_{12}=I_2+I_{s2} \quad (2.2)$$

EUL baslanıwındaǵı kernewdi Om nızamınan paydalanıp esaplaymız:

$$U_{1f}=U_{2f}+ I_{12}Z_{12}. \quad (2.3)$$

EUL baslanıwındaǵı sıyımlılıq togı:

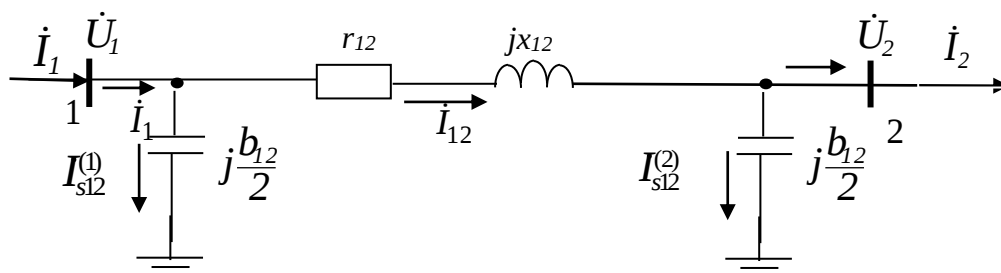
$$I_{s1}=jU_{1f}b_{12}/2.$$

EUL ǵa kiriwdegi toktı Kirxgoftıń 1-nızamına tiykarlanıp tabamız:

$$I_1=I_{12}+I_{s1}. \quad (2.4)$$

Úsh fazadaǵı quwatlıqlar ısırabı:

$$\Delta S_{12} = 3I_{12}^2 Z_{12}.$$



2.1-súwret. Elektr uzatıw liniyasınıń jaǵdayın esaplaw.

Elektr uzatıw liniyası jaǵdayın júkleme quwatlıǵı hám kernewi berilgende esaplaw. Usı halda elektr uzatıw liniyasınıń sxeması, barlıq esap parametrleri hám aqırında jalǵanǵan júklemenin tolıq quwatlıǵı $\dot{S}_2$ hámde kernewi $\dot{U}_2$ berilgen bolıp, (2.2-súwret), halattı esaplaw nátiyjesinde liniyanıń baslanıwındaǵı kernew $\dot{U}_1$, boyǵa bólimi aqırı hám baslanıwındaǵı quwatlıqlar $\dot{S}_{12}^{(2)}$, $\dot{S}_{12}^{(1)}$, quwatlıq ısırabı $\Delta \dot{S}_{12}$, liniya baslanıwındaǵı quwatlıq $\dot{S}_1$ lar tabıladı. Qızıw shártleri boyınsha talaptıń orınlanıwın tekseriw maqsetinde, bazıda, $\dot{I}_{12}$ togın da tabıw talap etiledi.

Barlıq belgisiz parametrlerdi esaplaw liniyanıń aqırınan baslanıwına qarap izbe-iz ráwishte Kirxgof hám Om nızamları tiykarında tómendegishi tártipte ámelge asırıladı.

Liniyanıń aqırındaǵı sıyımlılıq ótkiziwsheńlik esabına islep shıǵarılıwshı zaryad (sıyımlılıq) quwatlıǵı:

$$jQ_{s12}^{(2)} = 3\hat{I}_{s12}^{(2)} U_2 = j\frac{1}{2} U_2^2 b_{12}. \quad (2.5)$$

Liniyanıń boyǵa bólimi aqırındaǵı quwatlıq (Kirxgoftıń birinshi nızamı boyınsha):

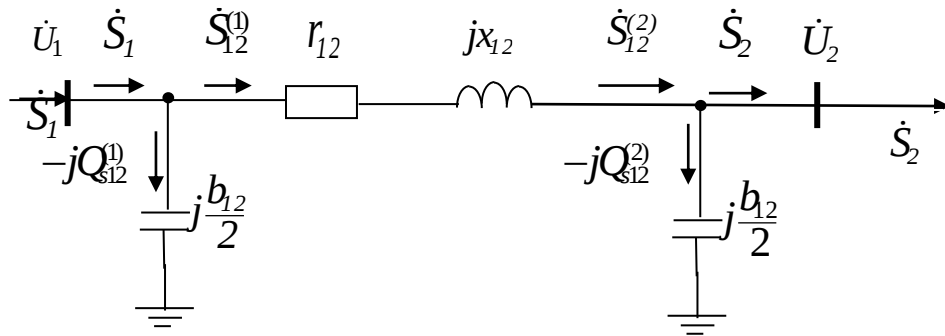
$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - jQ_{s12}^{(2)}. \quad (2.6)$$

Liniyadaǵı quwatlıq ısırabı:

$$\Delta \dot{S}_{12} = 3\dot{I}_{12}^2 Z_{12} = \frac{\dot{S}_{12}^{(2)2}}{\dot{U}_2^2} Z_{12}. \quad (2.7)$$

Liniyanıń almasıw sxemasınıń boyǵa bólimi baslanıwındaǵı quwatlıq:

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}. \quad (2.8)$$



2.2-súwret. EUL jaǵdayın júkleme quwatlıǵı hám kernewi berilgende esaplaw.

Liniya baslanıwındaǵı kernew:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_2 + \frac{\hat{S}_{12}^{(2)}}{\dot{U}_2} Z_{12}. \quad (2.9)$$

Liniyanıń baslanıwındaǵı zaryad quwatlıǵı:

$$Q_{12}^{(1)} = \frac{1}{2} U_1^2 b_{12}. \quad (2.10)$$

Liniyanıń baslanıwındaǵı tolıq quwatlıq:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)} - jQ_{12}^{(1)}. \quad (2.11)$$

EUL nıń jaǵdayın aqırında júkleme hám baslanıwında kernew berilgende esaplaw (liniyanıń almasıw sxeması, barlıq esap parametrleri hám $\dot{S}_2$ hámde $\dot{U}_1$ lar berilgen). Usı halda liniyanıń jaǵdayın esaplaw nátiyjesinde onıń baslanıwındaǵı quwatlıq, aqırındaǵı kernew, almasıw sxeması boyǵa bóliminiń aqırı hám baslanıwındaǵı quwatlıqlar hámde quwatlıqlar ısırapları tabıladı.

Usı halda liniyanıń jaǵdayın ańlatıwshı teńleme iymek sızıqlı kóriniste boladı hám sol sebepli ol izbe-iz jaqınlasıw usıllarınan paydalanıp esaplanadı.

2-túyin ushın iymek sızıqlı túyin kernewleri teńlemesi tómendegi kóriniste boladı:

$$Y_{22} \dot{U}_2 + Y_{12} \dot{U}_1 = \dot{I}_2(U_2) = \frac{\hat{S}_2}{\dot{U}_2}. \quad (2.12)$$

Bul teńlemenı sheship, belgisiz $\dot{U}_2$ ni tabıw hám sońınan joqarıdaǵı formulalar boyınsha barlıq quwatlıqlardı esaplaw múmkin.

Biraq ashıq elektr tarmaqları jaǵdayların, sonıń menen birge, usı tarmaq jaǵdayın esaplaw ushın salıstırmalı ápiwayı bolǵan «*eki basqıshlı*» usıdan paydalanıw maqsetke muwapıq. Bul usıl boyınsha esaplaw tártibi menen tanısamız.

1-basqısh. $\dot{U}_2 = U_n$ dep qabıl qılıp, aldınǵı jaǵdaydaǵı tártipte quwatlıq aǵımları hám ısırapların esaplaymız:

$$Q_{s12}^{(2)} = \frac{1}{2} U_n^2 b_{12}; \quad S_{12}^{(2)} = S_2 - jQ_{s12}^{(2)}; \quad \Delta S_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_n^2} Z_{12};$$

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}; \quad Q_{s12}^{(1)} = \frac{1}{2} U_1^2 b_{12}; \quad S_1 = S_{12}^{(1)} - jQ_{s12}^{(1)}.$$

2-basqısh. 1-basqıshta tabılǵan quwatlıq aǵımı $\dot{S}_{12}^{(1)}$ den paydalanıp, Om nızamı boyınsha $\dot{U}_2$ kernewin anıqlaymız. Bunda tok $\dot{I}_{12}$ di $\dot{S}_{12}^{(1)}$ hám $\dot{U}_1$ lar arqalı ańlatamız:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_1 - \frac{\hat{S}_{12}^{(1)}}{\dot{U}_1} Z_{12}. \quad (2.13)$$

Joqarıdaǵı formulalarda $\dot{U}_2$ dıń ornına U_n paydalanılǵanlıǵı sebepli 1-basqıshta quwatlıq aǵımları hám buǵan sáykes ráwishte 2-basqıshta kernew $\dot{U}_2$ lardıń tabılǵan mánisleri shama menen boladı. Olardıń anıq mánislerin tabıw ushın joqarıdaǵı formulalarda $\dot{U}_2$ niń ornına onıń tabılǵan mánisin qoyıp esaplawdı tákirarlaw lazım. Qayta esaplawlardı bir neshe márte ámelge asırıp, talap etilgen anıqlıqtaǵı nátiyjeni alıw múmkin.

Bunday esaplawlardı EEMda ámelge asırıw maqsetke muwapıq.

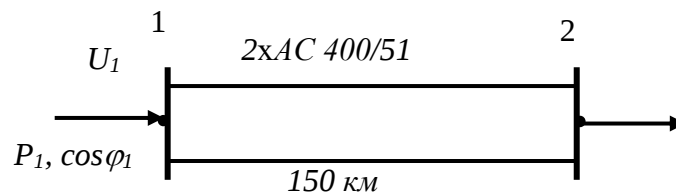
2.2. Máseleler sheshiwge úlgiler

2.1-másele. Rayon podstanciyasınıń 220 kV kernewli shinasınan 150 km uzınlıqtaǵı eki shınjırlı hawa liniyası arqalı júkleme támiynlenedi (2.3-súwret). Liniya AC 400/51 ($r_0=0,075 \text{ Om/km}$; $x_0=0,42 \text{ Om/km}$; $b_2=2,70 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$) markalı ótkizgishten tayarlanǵan. Maksimal júkleme jaǵdayında liniyadan

$\cos\varphi_{maks}=0,9$ bolğan jaǵdayda $P_{1maks}=300$ MVt hám minimal júkleme jaǵdayında $\cos\varphi_{min}=0,95$ bolğan jaǵdayda $P_{1min}=100$ MVt quwatlıq uzatıladı.

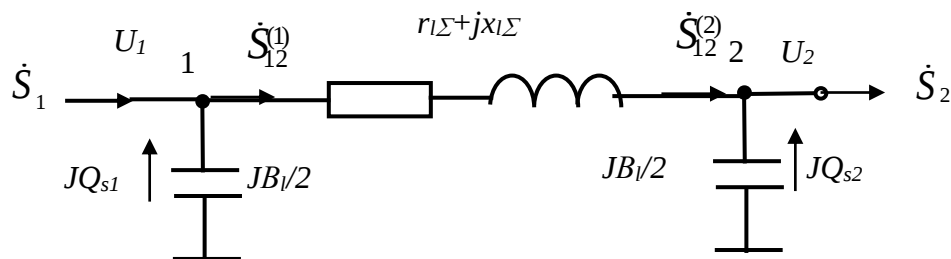
Maksimal hám minimal júkleme jaǵdaylarında, hámde avariyaǵan keyingi jaǵdayda (bir shıńjır úzilgen) quwatlıqlar aǵımları, $\cos\varphi$ hám liniyanıń aqırlarındaǵı kernewlerdi tabıń.

Esaplawlarda támiynlewshi podstanciya shinasındaǵı kernew maksimal júkleme hám avariyaǵan keyingi jaǵdaylar ushın $1,1 U_{nom}$, yaǵnıy 242 kV; minimal júkleme jaǵdayı ushın $1,05 U_{nom}$, yaǵnıy 231 kV qabıl qılınsın.



2.3-súwret

Sheshiliwi. 1. Almastırıw sxemasın quramız hám onıń parametrların tabamız. (2.4-súwret).



2.4-súwret

Normal jaǵdaydı esaplaw ushın:

$$r_{l\Sigma} = \frac{r_0 l}{2} = \frac{0,075 \cdot 150}{2} = 5,62 \text{ Ом}$$

$$x_{l\Sigma} = \frac{x_0 l}{2} = \frac{0,42 \cdot 150}{2} = 31,5 \text{ Ом}$$

$$\frac{b_{l\Sigma}}{2} = \frac{2b_0 l}{2} = 2,70 \cdot 10^{-6} \cdot 150 = 405 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

Avariyaǵan keyingi jaǵdaydı esaplawda eki shıńjırdan biriniń úzilgenligin esapqa alıw lazım. Sol sebepli

$$r_{av/k} = 2r_{\Sigma} = 11,24 \Omega, \quad x_{av/k} = 2x_{\Sigma} = 63,0 \Omega, \\ b_{av/k} = \frac{b_0}{2} = 202,5 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

2. Maksimal jüklemeye jağdayının parametrlerin esaplaymız:

$$S_{Lmakc} = P_{Lmakc} + jQ_{Lmakc} = P_{Lmakc} + jP_{Lmakc} \operatorname{tg} \varphi_{Lmakc} = 300 + j300 \cdot 0,484 = 300 + j145,29 \text{ MVA};$$

$$Q_{c1} = U_1^2 \frac{b_{\Sigma}}{2} = 242^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 23,72 \text{ Mvar}$$

$$S_{12}^{(1)} = P_{Lmakc} + jQ_{Lmakc} + jQ_{c1} = 300 + j145,29 + j23,72 = 300 + j169,01 \text{ MVA};$$

$$U_2 = \sqrt{\left(U_1 - \frac{P_{12}^{(1)} r_{\Sigma} + Q_{12}^{(1)} x_{\Sigma}}{U_1} \right)^2 + \left(\frac{P_{12}^{(1)} x_{\Sigma} - Q_{12}^{(1)} r_{\Sigma}}{U_1} \right)^2} = \\ = \sqrt{\left(242 - \frac{300 \cdot 0,562 + 169,01 \cdot 1,5}{242} \right)^2 + \left(\frac{300 \cdot 1,5 - 169,01 \cdot 0,562}{242} \right)^2} = \\ = \sqrt{(242 - 2,20)^2 + 351,2^2} = 227,8 \text{ B}$$

$$\Delta P_l = \frac{P_{12}^{(1)2} + Q_{12}^{(1)2}}{U_1^2} \cdot r_{\Sigma} = \frac{300^2 + 169,01^2}{242^2} \cdot 0,562 = 1,38 \text{ MBm}$$

$$\Delta Q = \Delta P_l \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = 1,38 \cdot \frac{1,5}{0,562} = 3,77 \text{ Mvar};$$

$$Q_{c2} = U_2^2 \frac{b_{\Sigma}}{2} = 227,8^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 20,1 \text{ Mvar};$$

$$S_{12}^{(2)} = P_{12}^{(1)} - \Delta P_l + j(Q_{12}^{(1)} - \Delta Q) = 300 - 1,38 + j(169,01 - 3,77) = 298,62 + j165,24 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$S_2 = P_2 + jQ_2 = P_{12}^{(2)} + j(Q_{12}^{(2)} + Q_{c2}) = 298,62 + j(165,24 + 20,1) = 298,62 + j185,34 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{298,62}{\sqrt{298,62^2 + 185,34^2}} = 0,92$$

3. Minimal jüklemeye jağdayının parametrlerin esaplaymız:

$$S_{lmin} = P_{lmin} + jQ_{lmin} = P_{lmin} + jP_{lmin} \operatorname{tg} \varphi_{lmin} = 100 + j100 \cdot 0,328 = 100 + j32,8 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$Q_{c1} = U_1^2 \frac{b_{\Sigma}}{2} = 231^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 21,61 \text{ Mvar};$$

$$S_{12}^{(1)} = P_{lmin} + jQ_{lmin} + jQ_{c1} = 100 + j(32,8 + 21,61) = 100 + j54,41 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$\Delta P_l = \frac{P_{12}^{(1)2} + Q_{12}^{(1)2}}{U_1^2} \cdot r_{\Sigma} = \frac{100^2 + 54,41^2}{231^2} \cdot 0,562 = 1,36 \text{ MBm};$$

$$\Delta Q = \Delta P_l \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = 1,36 \cdot \frac{31,5}{5,62} = 7,6 \text{ MVAR};$$

$$U_2 = \sqrt{\left(231 - \frac{100 \cdot 5,62 + 54,41 \cdot 31,5}{231}\right)^2 + \left(\frac{100 \cdot 31,5 - 54,41 \cdot 5,62}{231}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{221,13^2 + 12,31^2} = 221,47 \text{ kV};$$

$$Q_2 = U_2^2 \frac{b_{\Sigma}}{2} = 221,47^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 19,86 \text{ MVAR};$$

$$S_{12}^{(2)} = 100 - 1,36 + j(54,41 - 7,65) = 98,64 + j46,76 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$S_2 = P_2 + jQ = P_{12}^{(2)} + j(Q_{12}^{(2)} + Q_2) = 98,64 + j(46,76 + 19,86) =$$

$$= 98,64 + j66,62 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{9864}{\sqrt{9864^2 + 6666^2}} = 0,829$$

4. Avariya dan keyingi jaǵdaydın parametrlerin esaplaymız.

Avariya dan keyingi jaǵdayda bir waqıtta eki hádiyseniń júz beriwın, yaǵnıy bir shıńjırdın úzilgenligi hám maksimal júkleme jaǵdayınıń bolıwın esapqa alıw lazım.

$$Q_{s1,av/k}' = U_1^2 \frac{b_{av/k}}{2} = 242^2 \cdot 202,5 \cdot 10^{-6} = 11,86 \text{ MVAR};$$

$$S_{12}^{(1)} = P_{1,av/k} + jQ_{1,av/k} + jQ_{s2,av/k} = 300 + j(145,29 + 11,86) =$$

$$= 300 + j157,15 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$U_2 = \sqrt{\left(242 - \frac{300 \cdot 11,24 + 157,15 \cdot 63,0}{242}\right)^2 + \left(\frac{300 \cdot 63,0 - 157,15 \cdot 11,24}{242}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(242 - 54,84)^2 + 70,8^2} = \sqrt{187,16^2 + 70,8^2} = 200,1 \text{ kV};$$

$$\Delta P_l = \frac{300^2 + 157,15^2}{242^2} 11,24 = 22,01 \text{ MW};$$

$$\Delta Q = 22,01 \cdot \frac{63,0}{11,24} = 123,38 \text{ MVAR};$$

$$Q_2 = 200,1^2 \cdot 202,5 \cdot 10^{-6} = 8,11 \text{ MVAR};$$

$$S_{12}^{(2)} = 300 - 22,01 + j(157,15 - 123,38) = 277,99 + j33,77 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$S_2 = P_2 + jQ = P_{12}^{(2)} + (Q_{12}^{(2)} + Q_2) = 277,99 + j(33,77 + 8,11) =$$

$$= 277,99 + j41,88 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

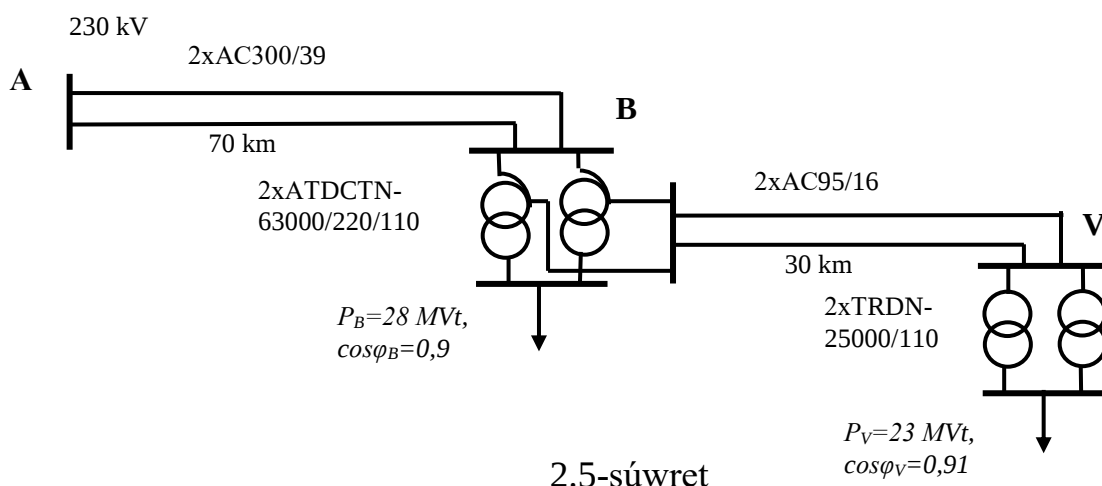
$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{277,99}{\sqrt{277,99^2 + 41,88^2}} = 0,989$$

Alingan nátiyjeler boyınsha sonday juwmaq shıǵarıw múmkin, paydalanıwshıda minimal júkleme jaǵdayında reaktiv quwatlıqtıń artıqshalıǵı hám avariyaǵan keyingi jaǵdayda asa jetispewshiligi mashqalaları payda boladı.

2.2-másele. *B* hám *V* júkleme podstanciyaları eki shınjırlı uzatıw liniyası arqalı *A* podstanciyasınıń 220 kV kernewli shinasınan támiynlenedi. *B* podstanciyasında eki ATDCTN-63000/220/110 tipindegi avtotransformatorlar, *V* podstanciyasında bolsa eki TRDN-25000/110 tipindegi eki oramlı transformatorlar parallel jaǵdayda isleydi (2.5-súwret).

Ótkizgishlerdiń markaları, liniyalardıń uzunlıqları, *A* podstanciyasınıń shinasındaǵı kernew, *B* hám *V* podstanciyalardaǵı júklemelerdiń maksimal mánisleri hám aktiv quwatlıq koefficientleri tarmaqtıń sxemasında keltirilgen.

Elektr tarmaqtıń maksimal júkleme jaǵdayın esaplań.



Sheshiliwi. Qollanba tablicadan liniyanıń salıstırmalı parametrleri hámde avtotransformator hám transformatorlardıń katalog parametrlerin anıqlaymız.

Liniya *AB*: AC300/39, $r_0=0,098 \text{ Om/km}$, $x_0=0,429 \text{ Om/km}$, $b_0=2,64 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$.

Liniya *BV*: AC95/16, $r_0=0,306 \text{ Om/km}$, $x_0=0,434 \text{ Om/km}$, $b_0=2,61 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$.

Avtotransformator ATDCTN-63000/220/110: $S_{nom}=63 \text{ MBA}$, $U_{jn}=230 \text{ kV}$, $U_{on}=121 \text{ kV}$, $U_{tn}=11 \text{ kV}$, $u_{q(j-o)}=11\%$, $u_{q(j-t)}=35,7\%$, $u_{q(o-t)}=21,9\%$, $\Delta P_{q(j-o)}=215 \text{ kVt}$, $\Delta P_s=45 \text{ kVt}$, $I_s=0,5\%$.

Transformator TRDN-25000/110: $S_{nom}=25 \text{ MBA}$, $U_{jn}=115 \text{ kV}$, $U_{tn}=10,5 \text{ kV}$, $u_q=10,5\%$, $\Delta P_q=120 \text{ kVt}$, $\Delta P_s=27 \text{ kVt}$, $I_s=0,7\%$.

Liniyalar, transformatorlar hám avtotransformatorlardıń almasıw sxemaları parametrlerin tabamız:

Liniya AB:

$$r_{AB} = \frac{r_0 l_{AB}}{2} = \frac{0,008 \cdot 70}{2} = 0,28 \text{ Om}, \quad x_{AB} = \frac{x_0 l_{AB}}{2} = \frac{0,429 \cdot 70}{2} = 15,015 \text{ Om}, \quad B_{AB} = 2b_0 l_{AB} = 2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 3,766 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$

Liniya BV:

$$r_{BV} = \frac{r_0 l_{BV}}{2} = \frac{0,306 \cdot 30}{2} = 4,59 \text{ Om}, \quad x_{BV} = \frac{x_0 l_{BV}}{2} = \frac{0,434 \cdot 30}{2} = 6,51 \text{ Om}, \quad B_{BV} = 2b_0 l_{BV} = 2 \cdot 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 1,566 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$

Avtotransformator podstanciyası B:

$$\Delta S_{CB} = \Delta P_{CB} + j\Delta Q_{CB} = 2 \cdot \left(0,045 + j \frac{I_s}{100} \cdot 63 \right) = 0,09 + j0,63 \text{ MW} \cdot \text{A}$$

$$r_{ul} = \frac{\Delta P_{qj-o} U_{jn}^2}{2S_{nom}^2} = \frac{0,215 \cdot 230^2}{2 \cdot 63^2} = 1,432 \text{ Om}, \quad r_j = r_o = 0,5 \cdot r_{ul} = 0,5 \cdot 1,432 = 0,716 \text{ Om}$$

Kórilip atırǵan tiptegi avtotransformator ushın tómengi kernew oramınıń quwatlıǵı nominal quwatlıqtıń 50% tin quraǵanlıǵı sebepli

$$\alpha_n = \frac{S_m}{S_{nom}} = 0,5 \quad \text{Ba} \quad r_q = \frac{r_j}{\alpha_n} = \frac{0,716}{0,5} = 1,432 \text{ Om}$$

$$u_{qj} = 0,5 \cdot (u_{qj-o} + u_{qj-t} - u_{qo-q}) = 0,5 \cdot (11 + 35,7 - 21,9) = 12,4\%$$

$$u_{qo} = 0,5 \cdot (u_{qj-o} + u_{qo-t} - u_{qj-t}) = 0,5 \cdot (11 + 21,9 - 35,7) \approx 0\%$$

$$u_{qq} = 0,5 \cdot (u_{qj-t} + u_{qo-t} - u_{qj-o}) = 0,5 \cdot (35,7 + 21,9 - 11) = 23,3\%$$

$$x_j = \frac{u_{qj} U_{jn}^2}{2 \cdot 100 \cdot S_{nom}} = \frac{12,4 \cdot 230^2}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 52,06 \text{ Om}, \quad x_o = 0, \quad x_q = \frac{23,3 \cdot 230^2}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 97,83 \text{ Om}$$

Transformator podstanciyası V:

V podstanciyadaǵı transformatorlardıń ekvivalent almasıw sxeması parametrlerin 1.4-máseledegi sıyaqlı anıqlaymız hám nátiyjede tómendegini payda etemiz:

$$r_T = 1,27 \, \Omega$$

$$x_T = 27,77 \, \Omega$$

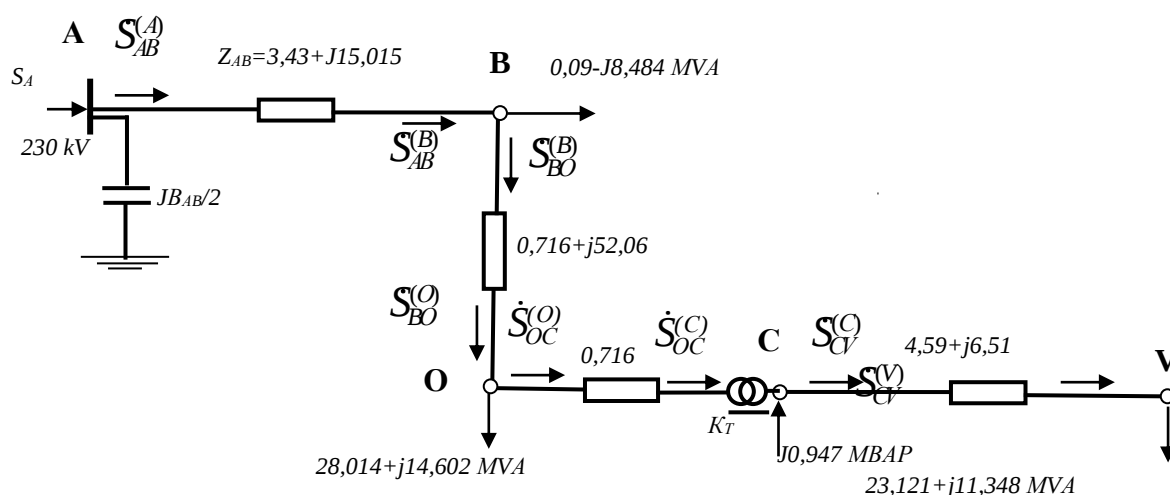
$$\Delta S_{SV} = \Delta P_{SV} + j\Delta Q_{SV} = 0,054 + j0,35 \, \text{MW} \cdot \text{A}$$

B podstanciyasınıń juldızsha kórinisindegi almasırw sxemasın nol noqatına keltirilgen júklemesin hámde V podstanciyasını, B hám C túyinlerdiń esaplıq júklemelerin tabamız (2.6-súwret).

B hám V podstanciyalar reaktiv júklemeleriniń maksimal mánisleri:

$$Q_B = P_B \tan \varphi_B = P_B \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_B}}{\cos \varphi_B} = 28 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,9^2}}{0,9} = 13,561 \, \text{MVAR},$$

$$Q_V = 23 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,91^2}}{0,91} = 10,479 \, \text{MVAR}.$$



2.6-súwret

$$\begin{aligned}
S_o &= P_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{nom}^2} \cdot r_k + j \left(Q_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{nom}^2} \cdot x_k \right) = 28 + \frac{28^2 + 13,561^2}{220^2} \cdot 0,716 + \\
&+ j \left(13,561 + \frac{28^2 + 13,561^2}{220^2} \cdot 52,06 \right) = 28,014 + j14,602 \text{ MVA}, \\
S_V' &= P_V + \frac{P_V^2 + Q_V^2}{U_{nom}^2} \cdot r_T + \Delta P_{sV} + j \left(Q_V + \frac{P_V^2 + Q_V^2}{U_{nom}^2} \cdot x_T + \Delta Q_{sV} - U_{nom}^2 \cdot \frac{B_{BV}}{2} \right) = \\
&= 23 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 1,27 + 0,054 + \\
&j \left(10,479 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 27,77 + 0,35 - 110^2 \cdot \frac{1,566 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = \\
&= 23,121 + j11,348 \text{ MVA}, \\
S_B &= \Delta P_{sB} + j \left(\Delta Q_{sB} - U_{nom}^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} \right) = \\
&= 0,09 + j \left(0,63 - 220^2 \cdot \frac{3,766 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 0,09 - j8,484 \text{ MVA},
\end{aligned}$$

$$Q_C = U_{nom}^2 \cdot \frac{B_{BV}}{2} = 110^2 \cdot \frac{1,566 \cdot 10^{-4}}{2} = 0,947 \text{ MVAR},$$

Elektr tarmoqtin jaǵdayın eki basqıştan ibarat bolǵan iteracion usıl járdeminde esaplaymız.

1 – basqış. $U_V = U_O = 220 \text{ kV}$ hám $U_C = U_V = 110 \text{ kV}$ dep qabıl qılıp, liniyalar hám avtotransformatorlardın esaplıq júklemelerin anıqlaymız:

$$\begin{aligned}
\Delta S_{CV} &= \frac{P_{CV}^2 + Q_{CV}^2}{U_{nom}^2} \cdot Z_{CV} = \frac{23,121^2 + 11,348^2}{110^2} \cdot (4,59 + j6,51) = \\
&= 0,252 + j0,357 \text{ MVA},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{CV}^{(Q)} &= S_{CV}^{(V)} + \Delta S_{CV} = 23,121 + j11,348 + 0,252 + j0,357 = \\
&= 23,373 + j11,705 \text{ MV} \cdot \text{A},
\end{aligned}$$

$$S_{CC}^{(Q)} = S_{CV}^{(Q)} - jQ_C = 23,373 + j11,705 - j0,947 = 23,373 + j10,758 \text{ MVA},$$

$$\Delta S_{CC} = \frac{P_{CC}^2 + Q_{CC}^2}{U_{nom}^2} \cdot Z_C = \frac{23,373^2 + 10,758^2}{220^2} \cdot 0,716 = 0,01 \text{ MVA},$$

$$S_{OC}^{(O)} = S_{OC}^{(O)} + \Delta S_{OC} = 23,373 + j10,758 + 0,01 = 23,383 + j10,758 \text{ MVA};$$

$$S_{BO}^{(O)} = S_{OC}^{(O)} + S_O = 23,383 + j10,758 + 28,014 + j14,602 = \\ = 51,397 + j25,36 \text{ MVA};$$

$$\Delta S_{VO} = \frac{P_{VO}^{(O)2} + Q_{VO}^{(O)2}}{U_{nom}^2} \cdot Z_V = \frac{51,397^2 + 25,36^2}{220^2} \cdot (0,716 + j52,06) = \\ = 0,049 + j3,535 \text{ MVA};$$

$$S_{BO}^{(B)} = S_{BO}^{(B)} + \Delta S_{BO} = 51,397 + j25,36 + 0,049 + j3,535 = \\ = 51,446 + j28,895 \text{ MVA};$$

$$S_{AB}^{(B)} = S_{BO}^{(B)} + S_B = 51,446 + j28,895 + 0,09 - j8,484 = \\ = 51,536 + j20,411 \text{ MVA};$$

$$\Delta S_{AB} = \frac{P_{AB}^{(B)2} + Q_{AB}^{(B)2}}{U_{nom}^2} \cdot Z_{AB} = \frac{51,536^2 + 20,411^2}{220^2} \cdot (3,43 + j15,015) = \\ = 0,218 + j0,953 \text{ MVA};$$

$$S_{AB}^{(A)} = S_{AB}^{(B)} + \Delta S_{AB} = 51,536 + j20,411 + 0,218 + j0,953 = 51,754 + j21,364 \text{ MVA};$$

$$S_A = S_{AB}^{(A)} - j \cdot U_A^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} = 51,754 + j21,364 - j230^2 \cdot \frac{3,766 \cdot 10^{-4}}{2} = \\ = 51,754 + j11,403 \text{ MVA}$$

2-basqish. A podstanciyaning shinalaridagi kernew ham tabilgan quwatliq agimlari boyinsha boleklerdegi kernew ısıraplari ham B, V podstanciyalarda ham elektr tarmaqtin basqa noqatlaridagi kernewlerdi esaplaymiz:

$$U_B = U_A - \frac{P_{AB}^{(A)} \cdot r_{AB} + Q_{AB}^{(A)} \cdot x_{AB}}{U_A} = 230 - \frac{51754,43 + 21364,15015}{230} = \\ = 230 - 217 = 22 \text{ } 3 \text{ kV}$$

$$U_O = U_B - \frac{P_{BO}^{(B)} \cdot r_V + Q_{BO}^{(B)} \cdot x_V}{U_B} = 227,83 - \frac{51,446 \cdot 0,716 + 28,895 \cdot 52,006}{227,83} = \\ = 227,83 - 6,75 = 221,07 \text{ kV};$$

$$U_C = \frac{U_O - \frac{P_{OC}^{(O)} \cdot r_C}{U_O}}{K_T} = \frac{221,07 - \frac{23,383 \cdot 0,716}{221,07}}{\frac{230}{121}} = \frac{221,07 - 0,08}{1,9} = 116,31 \text{ kV};$$

$$U_V = U_C - \frac{P_{CV}^{(C)} \cdot r_{BV} + Q_{CV}^{(C)} \cdot x_{BV}}{U_C} = 116,31 - \frac{23,373 \cdot 4,59 + 11,705 \cdot 6,51}{116,31} = \\ = 116,31 - 1,58 = 114,73 \text{ kV}.$$

2.3. Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler

1. Podstanciyanıń 110 kV nominal kernewli shinasınan $AC185/29$ markalı ótkizgishten tayarlangan 80 km uzınlıqtaǵı eki shınjırlı liniya arqalı paydalanıwshıǵa uzatılıwshı quwatlıq $50+j20\text{ MVA}$ dı quraydı. Liniya aqırındaǵı kernew 112 kV .

Liniyadaǵı quwatlıqlar ısırabı hámde onıń baslanıwındaǵı quwatlıqlar aǵımı hám kernewdi tabıń.

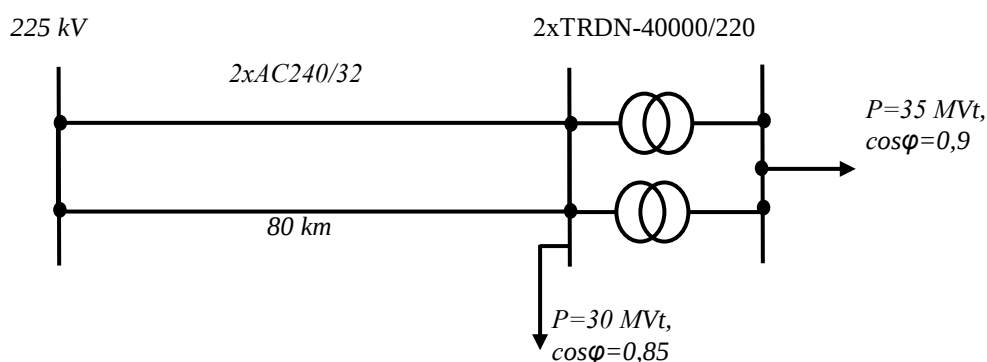
2. $AC300/39$ markalı ótkizgishten tayarlangan 75 km uzınlıqtaǵı liniyanıń baslanıwındaǵı kernew 230 kV , quwatlıqlar aǵımı bolsa $60+j25\text{ MVA}$ dı quraydı.

Liniyadaǵı quwatlıqlar ısırabı hámde onıń aqırındaǵı quwatlıqlar aǵımı hám kernewdi tabıń.

3. $AC120/19$ markalı ótkizgishten tayarlangan 60 km uzınlıqtaǵı eki shınjırlı liniyanıń baslanıwındaǵı támiynlew punktında kernew 115 kV , onıń aqırındaǵı podstanciyanıń esaplıq júklemesi (joqarı kernew shinasına keltirilgen júkleme) $30+j12\text{ MVA}$.

Liniya baslanıwındaǵı quwatlıqlar aǵımı hám aqırındaǵı kernewdi tabıń.

4. Sxeması 2.7-súwrette keltirilgen elektr tarmaq ushın támiynlew punktinen alınıwshı quwatlıq hám júkleme punktlerindegi kernewlerdi tabıń.



2.7-súwret

3 – BAP. BÓLISTIRIWSHI ELEKTR TARMAQLARÍNÍN JAǴDAYLARÍN ESAPLAW

3.1. $U \leq 35$ kV bolǵan bólistiriwshi elektr tarmaqların esaplawda qabıl qılınıwshı ápiwayılastırıwlar

$U \leq 35$ kV bolǵan bólistiriwshi elektr tarmaqların esaplawda qabıl qılınıwshı ápiwayılastırıwlar tómendegilerden ibarat.

1) EUL nıń sıyımlılıq (zaryad) quwatlıǵı júdá kishiligi sebepli esapqa alınbaydı. Nátiyjede bunday tarmaqlarda EUL nıń almastırıw sxeması 1.2, v-súwrettegi kóriniste súwretlenedi.

2) Nominal kernewi 10 kV hám onnan tómén bolǵan kabelli EUL nıń reaktiv qarsılıǵı júdá kishiligi sebepli esapqa alınbaydı. Nátiyjede olardıń almastırıw sxeması 1.2, g-súwrettegi kóriniste súwretlenedi.

3) Transformatordıń polat ózegindegi quwatlıq ısırabı esapqa alınbaydı. Nátiyjede bunday tarmaqlarda eki oramlı transformatordıń almastırıw sxeması 1.3, v-súwrettegi kóriniste súwretlenedi.

4) Tarmaq ushastkalarındaǵı quwatlıq aǵımların esaplawda quwatlıq ısırabı esapqa alınbaydı. Bunday jaǵdayda támiynlewshi punktın quwatlıq uzatıwshı 1-2 liniyadaǵı quwatlıq aǵımın tómendegi ańlatpadan anıqlanadı:

$$S_{12} = \sum_k^n S_k;$$

bul jerde k - júklemeninń tártip nomeri, n -júklemeler sanı.

5) Kernew páseyiwiniń boyǵa qurawshısı δU itibarǵa alınbaydı, yaǵnıy tarmaqtıń ayırım túyinleri arasındaǵı kernewdin faza boyınsha jılısıwı esapqa alınbaydı. Demek, tarmaqtıń hár qanday ushastkasında kernew ısırabı kernew páseyiwiniń boyǵa qurawshısına teń.

6) Kernew ısırapın esaplaw tarmaқтаǵı kernewdin haqıyqıy mánisi boyınsha emes, bálki U_n boyınsha ámelge asırıladı:

$$\Delta U_{12} = U_1 - U_2 = \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_H}.$$

Bul jerde P_{12} , Q_{12} -tarmaq shaqapshasidağı aktiv hám reaktiv quwatlıqlar ağımı; r_{12} , x_{12} –shaqapshanıń aktiv hám reaktiv qarsılıqları.

3.2. Bólistiriwshi elektr tarmaqlarda kernew ısırabınıń eń úlken mánisin esaplaw

Bólistiriwshi elektr tarmaqta támiynlewshi derek kernewi hám eń kem kernewli túyin kernewleri arasındadı parıq kernew ısırabınıń eń úlken mánisi esaplanadı. Onı esaplaw tártibi menen sxeması 3.1-súwrette keltirilgen tarmaq mısasında tanısamız.

Bul sxemada túyinlerdegi quwatlıqlar S_k , támiynlewshi túyin kernewi U_1 hám tarmaq shaqapshalarındağı qarsılıqlar Z_{kj} berilgen bolsın. Bunda: k -shaqapsha baslanıwındağı túyin nomeri, j -shaqapsha aqırındağı túyin nomeri. Tarmaqta kernew ısırabınıń eń úlken mınisin tabıw talap etiledi.

Tarmaq shaqapshalarındağı quwatlıqlar ağımı (S_{kj}) tómendegishe anıqlanadı:

$$S_{23}=S_3; \quad S_{12}=S_2+S_3; \quad (3.1)$$

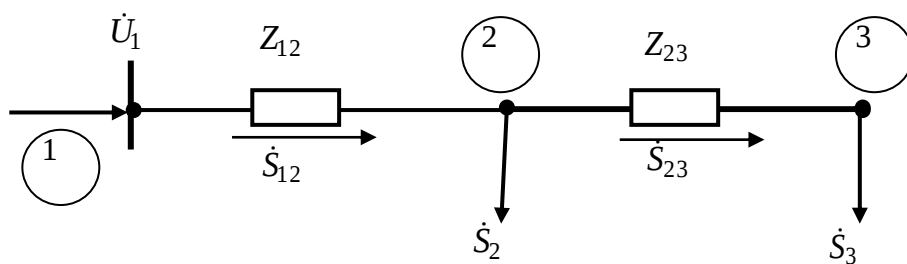
Bunda shaqapshalardağı aktiv hám reaktiv quwatlıqlar ağımları tómendegishe anıqlanadı:

$$P_{23}=P_3; \quad P_{12}=P_2+P_3; \quad (3.2)$$

$$Q_{23}=Q_3; \quad Q_{12}=Q_2+Q_3; \quad (3.3)$$

Kórilip atırğan jaǵdayda kernew ısırabınıń eń úlken mánisi 1 hám 2 túyinler arasında bolıp, ol 1-2 hám 2-3 shaqapshalardağı kernew ısıraplarınıń jıyındısına teń, yaǵnıy:

$$\Delta U_{enil} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23}$$



3.1-súwret. Bólistiriwshi tarmaq.

Shaqapshalardaǵı kernew ısırapların olardaǵı quwatlıqlar aǵımı, olardıń qarsılıqları hám nominal kernew arqalı ańlatamız:

$$\Delta U_{en.úlk} = \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_n} + \frac{P_{23}r_{23} + Q_{23}x_{23}}{U_n}. \quad (3.4)$$

Shaqapshalardıń qarsılıqların túyinlerdiń ekvivalent qarsılıqları arqalı ańlatamız:

$$r_2 = r_{12}; \quad r_3 = r_{12} + r_{23}; \quad x_2 = x_{12}; \quad x_3 = x_{12} + x_{23}.$$

Demek,

$$\Delta U_{en.úlk} = \frac{(P_2 + P_3)r_2 + (Q_2 + Q_3)x_2}{U_n} + \frac{P_3(r_3 - r_2) + Q_3(x_3 - x_2)}{U_n}$$

yaki

$$\Delta U_{en.úlk} = \frac{P_2r_2 + Q_2x_2}{U_n} + \frac{P_3r_3 + Q_3x_3}{U_n}.$$

Payda bolǵan nızamlıqtan paydalanıp, shaqapshalar járdeminde izbe-iz jalǵanǵan n dana túyinge iye bolǵan tarmaq ushın kernew ısırapınıń eń úlken mánisin tabıw formulasın payda qılamız:

$$\Delta U_{en.úlk} = \frac{1}{U_n} \sum_{k=2}^n (P_k r_k + Q_k x_k).$$

Bul jerde P_k, Q_k – k -túyindegı júkleme quwatlıǵı; r_k, x_k – hám k túyinler aralıǵındaǵı aktiv hám reaktiv qarsılıqlar (k -túyinniń ekvivalent aktiv hám reaktiv qarsılıqları), n -túyinler sanı.

Eger elektr tarmaǵı ótkizgishiniń kese-kesimi maydanı F bir qıylı bolǵan liniyalardan quralǵan bolsa, ol jaǵdayda:

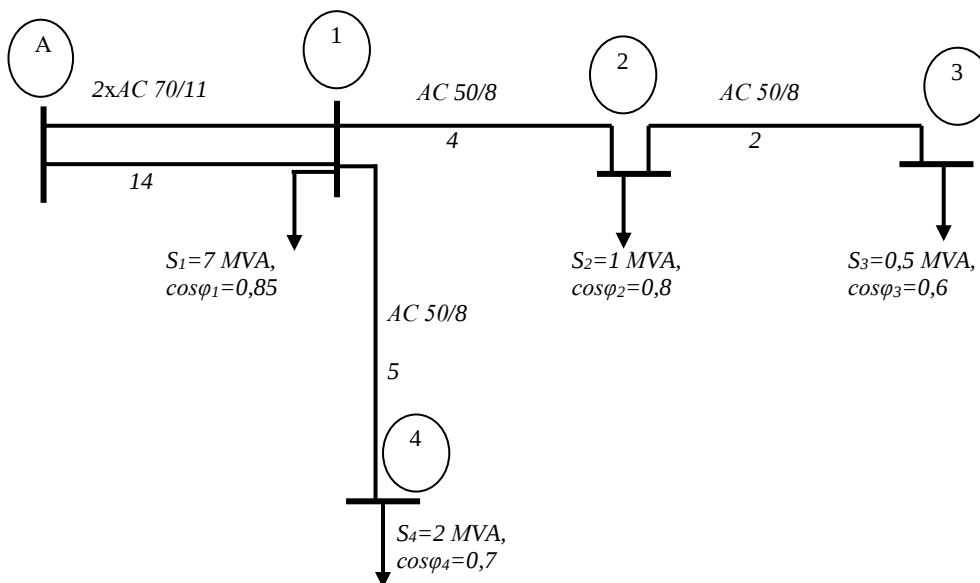
$$\Delta U_{enil} = \frac{1}{U_k} (r_0 \sum_{k=2}^n P_k l_k + x_0 \sum_{k=2}^n Q_k l_k). \quad (3.5)$$

Bul jerde l_k - hám k túyinler aralığındağı liniyalar uzınlıqlarınıń jıyındısı.

3.3. Máseleler sheshiwge úlger

Másele. 35 kV kernewli bólistiriwshi elektr tarmağı II-sıyaqlı tayanshlarda asılǵan polatıyuminıy ótkizgishlerden tayarlanǵan liniyalardan quralǵan. Tarmaq bólekleriniń kilometr birligindegi uzınlıqları, ótkizgishlerdiń markaları, júklemeler (MVA) hám olardıń quwatlıq koefficientleri 3.2-súwrettegi sxemada keltirilgen. Liniyanıń salıstırmalı qarsılıqları AC50/8 markadağı ótkizgishli liniya ushın $r_0=0,603 \text{ Om/km}$, $x_0=0,43 \text{ Om/km}$; AC70/11 markadağı ótkizgishli liniya ushın $r_0=0,43 \text{ Om/km}$, $x_0=0,42 \text{ Om/km}$ di quraydı.

Elektr tarmaqta kernew ısırabınıń eń úlken mánisin tabıń..



3.2-súwret

Sheshiliwi. Elektr tarmaq bólekleriniń qarsılıqların tabamız:

$$Z_{A1} = \frac{(r_0 + jx_0) \cdot l_{A1}}{2} = \frac{(0,43 + j0,42) \cdot 14}{2} = 3,01 + j2,94 \text{ Om}$$

$$Z_{12} = (0,603 + j0,43) \cdot 4 = 2,41 + j1,72 \text{ Om}$$

$$Z_{23} = (0,603 + j0,43) \cdot 2 = 1,21 + j0,86 \text{ Om}$$

$$Z_{14} = (0,603 + j0,43) \cdot 5 = 3,01 + j2,15 \text{ Om}$$

Tarmaq júklemeleriniń aktiv hám reaktiv quwatlıqların anıqlaymız:

$$S_1 = S_1 (\cos \varphi_1 + j \sin \varphi_1) = 7 * (0,85 + j0,526) = 5,95 + j3,68 \text{ MVA};$$

$$S_2 = 1 * (0,8 + j0,6) = 0,8 + j0,6 \text{ MVA};$$

$$S_3 = 0,5 * (0,6 + j0,8) = 0,3 + j0,4 \text{ MVA};$$

$$S_4 = 2 * (0,7 + j0,713) = 1,4 + j1,43 \text{ MVA};$$

A-1 bas bólekтегі quwatlıq aǵımı:

$$S_{A1} = P_{A1} + jQ_{A1} = 8,45 + j6,11 \text{ MVA};$$

A-1 bas bólekте керnew ысырабы:

$$\Delta U_{A1} = \frac{8,45 \cdot 3,01 + 6,11 \cdot 2,94}{35} = 1,24 \text{ kV};$$

1-3 hám 1-4 bóleklerde керnew ысыраптары:

$$\Delta U_{13} = \frac{0,8 \cdot 2,41 + 0,6 \cdot 1,72 + 0,3 \cdot (2,41 + 1,21) + 0,4 \cdot (1,72 + 0,86)}{35} = 0,145 \text{ kV};$$

$$\Delta U_{14} = \frac{1,4 \cdot 3,01 + 1,43 \cdot 2,15}{35} = 0,208 \text{ kV}.$$

Elektr tarmaqta керnew ысырабының еń úlкен мánиси:

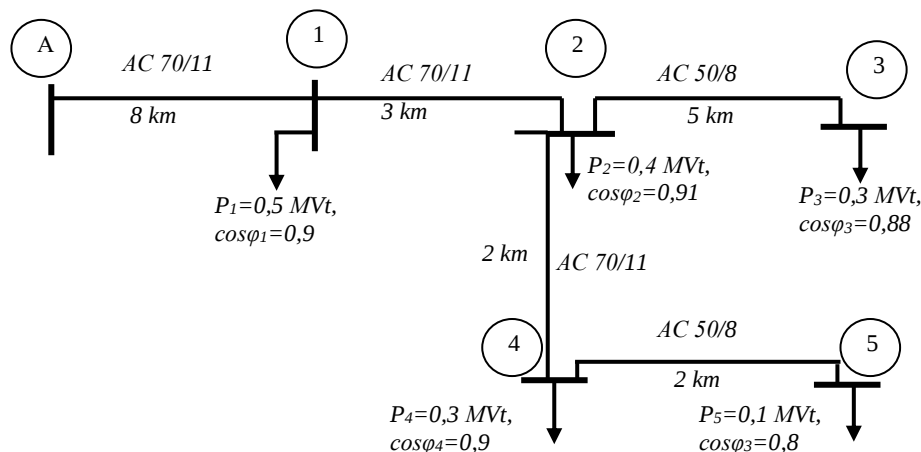
$$\Delta U_{enil} = \Delta U_{A1} + \Delta U_{14} = 1,24 + 0,208 = 1,448 \text{ kV}$$

yaki nominal керnewge salıstırǵanda procient birliginde

$$\Delta U_{enil} = \frac{1,448}{35} \cdot 100 = 4,14\%$$

3.4. Óz-betinshe sheshiw ushın máseleler

Sxeması 3.3-súwrette súwretlengen $U_n = 10 \text{ kV}$ bolǵan elektr tarmaqta quwatlıq ысырабы hám еń úlкен керnew ысырабын табиń.



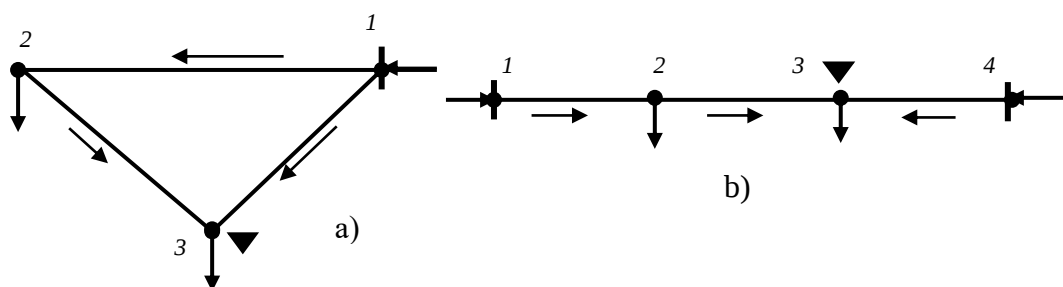
3.3-súwret

4 – BAP. JABÍQ ELEKTR TARMAQLARÍNÍN JAǴDAYLARÍN ESAPLAW

4.1. Ápiwayı jabıq elektr tarmaqlarda quwatlıq aǵımları hám túyin kernewlerin esaplaw

Eki hám onnan artıq tárepten derek túyinlerine iye bolǵan elektr tarmaǵı jabıq elektr tarmaǵı dep ataladı. Ekewden artıq bolmaǵan tárepten derek túyinlerine iye bolǵan jabıq elektr tarmaǵı ápiwayı jabıq elektr tarmaǵı dep ataladı. Úsh hám onnan artıq tárepten derek túyinlerine iye bolǵan jabıq elektr tarmaǵı quramaı jabıq elektr tarmaǵı dep ataladı. Tórende ápiwayı jabıq elektr tarmaǵında quwatlıq aǵımları hám túyin kernewlerin esaplaw usılları menen tanısamız.

4.1-súwrette mısıl retinde ápiwayı jabıq elektr tarmaǵınıń sxemaları súwretlengen.



4.1-súwret. Ápiwayı jabıq elektr tarmaqları.

a-úshmúyeshlik formasındaǵı ápiwayı jabıq elektr tarmaǵı; b-eki tárepten támiynleniwshi elektr tarmaǵı.

Saqıyna sıyaqlı elektr tarmaǵı ápiwayı jabıq elektr tarmaǵınıń jeke kórinisi (4.1, a-súwret). Ol bir jabıq konturdan ibarat. Támiynlewshi derek bolıp elektr stanciyaları yaki podstanciyalarınıń shinaları esaplanadı. Saqıyna sıyaqlı ápiwayı jabıq elektr tarmaǵın támiynlew túyininen ajratıw arqalı shetlerinde kernew bir qıylı bolǵan eki tárepten támiynleniwshi tarmaq kórinisinde súwretlew múmkin. Mısalı, usı ámeldi 4.1, a-súwrette súwretlengen tarmaq ushın orınlasaq, ol 4.1, b-súwrette súwretlengen tarmaq kórinisine keledi.

Ápiwayı jabıq elektr tarmaǵında quwatlıq aǵımların ısıratı itibarǵa alıp esaplaw. Ápiwayı jabıq elektr tarmaǵı eki tárepten támiynlengen tarmaq kórinisinde (mısalı, 4.1, b-súwrettegi kóriniste) hám ulıwma jaǵdayda onıń shetlerindeki támiynlew túyinleriniń kernewleri hár qıylı bolsın ($U_0 \neq U_4$).

Elektr tarmaqta quwatlıq aǵımların esaplaw tómendegi algoritm boyınsha ámelge asırıladı.

1) Kirxgoftıń birinshi hám ekinshi nızamlarınan paydalanıp payda qılınıwshı teńlemenı sheshiw tiykarında tarmaqtaǵı ısıraplar itibarǵa alınbaǵan jaǵdaydaǵı quwatlıq aǵımları esaplanadı;

2) Shaqapshalardaǵı quwatlıq aǵımlarınıń baǵıtlarına baylanıslı ráwishte quwatlıqlar aǵımınıń bóliniw túyini (noqatı) anıqlanadı hám bul túyinnen tarmaq eki bir tárepten támiynleniwshı tarmaqlarǵa ajratıladı;

3) Payda bolǵan hár eki bir tárepten támiynleniwshı tarmaqlarda ısıraplar itibarǵa alınǵan jaǵdaydaǵı quwatlıq aǵımları tarmaq jaǵdayın esaplawdıń eki basqıshlı usılınıń birinshi basqıshındaǵı sıyaqlı esaplanadı;

Usı algoritmniń ámelge asırılıw sxeması 4.1, b-súwrette súwretlengen tarmaq mısasında kórip ótemiz.

1-2 shaqapshada 1-túyinnen 2-túyin tárepi baǵıtında aǵıwshı tolıq quwatlıq $\dot{S}_{12}$ ni belgisiz sıpatında qabıl qılıp, qalǵan shaqapshalardaǵı quwatlıqlardı Kirxgoftıń birinshi nızamınan paydalanǵan halda usı belgisiz hám túyinlerdiń quwatlıqları arqalı ańlatamız: 2-3 shaqapshada 2-túyinnen 3-túyin tárepi baǵıtında aǵıwshı quwatlıq $\dot{S}_{23} = \dot{S}_{12} - \dot{S}_2$; 3-4 shaqapshada 3-túyinnen 4-túyin tárepi baǵıtında aǵıwshı quwatlıq: $\dot{S}_{34} = \dot{S}_{23} - \dot{S}_3 = \dot{S}_{12} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3$.

Hár bir $i-j$ shaqapshadaǵı toktı onda aǵıwshı quwatlıq hám nominal kernew arqalı ańlatıp, Kirxgoftıń ekinshi nızamı boyınsha tómendegi teńlemenı payda etemiz:

$$\frac{\hat{S}_{12}}{U_N} Z_{12} + \frac{\hat{S}_{12} - \hat{S}_2}{U_N} Z_{23} + \frac{\hat{S}_{12} - \hat{S}_2 - \hat{S}_3}{U_N} Z_{34} = U_1 - U_4. \quad (4.1)$$

Bul teńlemeden belgisiz quwatlıq $\dot{S}_{12}$ ni tabamız:

$$\dot{S}_{12} = \frac{\dot{S}_2(\hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}) + \dot{S}_3\hat{Z}_{34}}{\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}} + \frac{U_H(\hat{U}_1 - \hat{U}_4)}{\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}}. \quad (4.2)$$

Usı jol menen 4-3 shaqapshada 4-túyinnen 3-túyin tárepi bağıtında ağıwshı ağıwshı $\dot{S}_{43}$ quwatlıq aǵımı ushın da tómendegi ańlatpanı keltirip shıǵarıw múmkin:

$$\dot{S}_{43} = \frac{\dot{S}_3(\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23}) + \dot{S}_2\hat{Z}_{12}}{\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}} + \frac{U_H(\hat{U}_4 - \hat{U}_1)}{\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}}. \quad (4.3)$$

Támiynlewshı túyinlerde kernewler bir qıylı bolǵan jeke jaǵdayda (4.2) hám (4.3) fomulalardaǵı ekinshi qurawshılar nolge aylanadı.

Támiynlewshı túyinnen shıǵıwshı shaqapshalarda ağıwshı quwatlıqlar ushın jazılǵan (4.2) hám (4.3) formulalardaǵı nızamlılıqtan paydalanıp, olardı ulıwma jaǵdayda eki tárepten – 1 hám n-túyinlerden támiynleniwshı tarmaq ushın da jazıw múmkin:

$$\dot{S}_{12} = \frac{\sum_{k=2}^n \dot{S}_k \hat{Z}_{kn}}{\hat{Z}_{1n}}, \quad (4.2)a$$

$$\dot{S}_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^n \dot{S}_k \hat{Z}_{1k}}{\hat{Z}_{1n}}. \quad (4.2)6$$

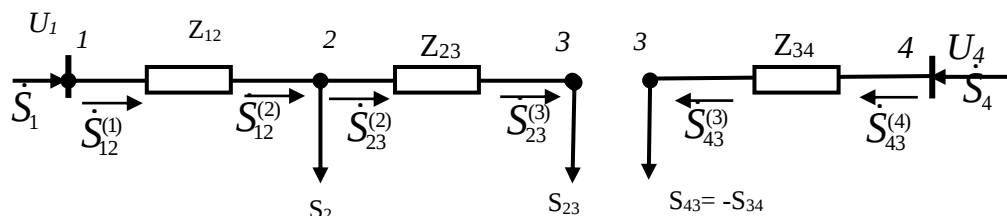
Bul jerde k -túyin nomeri; Z_{kn} , Z_{1k} – sáykes jaǵdayda k hám n hámde l hám k túyinler arasındǵı ekvivalent tolıq qarsılıqlar, yaǵnıy bul túyinler arasındǵı shaqapshalardıń tolıq qarsılıqları jıyındıları.

(4.2) formuladan belgisiz quwatlıq $\dot{S}_{12}$ (yaki (4.3) ten $\dot{S}_{43}$) tabılǵanna soń Kırxgoftıń birinshi nızamı boyınsha dúzilip, joqarıda keltirilgen ańlatpalardan barlıq shaqapshalardaǵı quwatlıq aǵımları esaplanadı. Sońınan quwatlıq aǵımlarınıń baǵıtları boyınsha onıń bóliniw túyini anıqlanadı. Kóz aldımızǵa keltireyik, kórilip atırǵan jaǵdayda quwatlıq aǵımınıń bóliniw túyini 3-túyin. Ol jaǵdayda tarmaq 4.2, a-súwrettegi sıyaqlı eki bir tárepten támiynleniwshı tarmaqlarǵa ajratıladı (4.2, a-súwrette shaqapshalar sáykes qarsılıqları menen súwretlengen).

Payda bolǵan shep táreptegi elektr tarmaqta quwatlıq aǵımınıń ısırabın itibarǵa alǵan haldaǵı bólistiriliwin esaplaw tártibi menen tanısıp ótemiz.

2-3 shaqapshanıń aqırında, yaǵnıy 3-túyin tárepinde aǵıwshı quwatlıq:

$$\dot{S}_{23}^{(3)} = \dot{S}_{23}.$$



4.2-súwret. Elektr tarmaqta quwatlıq aǵımınıń ısırabın esapqa alǵan jaǵdayda bólistiriliwi.

2-3 shaqapshada ısırap bolıwshı quwatlıqtı esaplaymız:

$$\Delta \dot{S}_{23} = \frac{|S_{23}^{(3)}|^2}{U_H^2} Z_{23} = \frac{P_{23}^{(3)^2} + Q_{23}^{(3)^2}}{U_H^2} Z_{23}.$$

2-3 shaqapshanıń baslanıwında, yaǵnıy 2-túyin tárepinde aǵıwshı quwatlıqtı tabamız:

$$\dot{S}_{23}^{(2)} = \dot{S}_{23}^{(3)} + \Delta \dot{S}_{23}.$$

1-2 shaqapshanıń aqırında aǵıwshı quwatlıqtı 2-túyin ushın Kirxgoftıń birinshi nızamınan paydalanıp tabamız:

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_{23}^{(2)} + \dot{S}_2.$$

1-2 shaqapshada quwatlıq ısırabın hám onıń baslanıwındaǵı quwatlıq aǵımın tómendegi formulalar boyınsha esaplaymız:

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{P_{12}^{(2)^2} + Q_{12}^{(2)^2}}{U_H^2} Z_{12}, \quad \dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}.$$

1-2 shaqapshanıń baslanıwında aǵıwshı quwatlıq 1-derektен alınıwshı quwatlıqqa teń, yaǵnıy $\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)}$.

Tarmaqtıń oń táreptegi bólegi ushın da quwatlıq aǵımınıń ısırabın itibarǵa alǵan haldaǵı bólistiriliwi usı tárizde esaplanadı.

Eki tárepten támiynleniwshı elektr tarmaqlarda kernewlerdiń bólistiriliwin esaplaw. Eki tárepten támiynleniwshı elektr tarmaqlarda

kernewlerdiń bólistiriliwin, yaǵnıy túyinlerdegi kernewlerdi, joqarıdaǵı jandasıw tiykarında eslaw ushin aldın aytıp ótilgen esaplawlar ámelge asırılıp, quwatlıq aǵımlarınıń ısırabın itibarǵa alıp bólistiriliwleri anıqlanadı. Sońınan ashıq tarmaqlar jaǵdayların eki basqıshlı usılda esaplawdıń ekinshi basqıshlı ámelge asırıladı hám nátiyjede barlıq kernewler tabıladı. Bul esaplawlardıń ámelge asırılıw tártibi menen joqarıdaǵı elektr tarmaqtıń shep bólegi mısasında tanısamız:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \frac{\hat{S}_{12}^{(1)}}{\dot{U}_1} Z_{12}, \quad \dot{U}_3 = \dot{U}_2 - \frac{\hat{S}_{23}^{(2)}}{\dot{U}_2} Z_{23}.$$

Elektr tarmaqtıń oń bólegi ushin da usı sıyaqlı esaplawlar ámelge asırıladı. 3-túyinniń haqıyqıy (juwmaqlawshı) kernewi sıpatında onıń tarmaqtı eki bólegi ushin orınlanǵan esaplawlar nátiyjesinde anıqlanǵan mánisleriniń ortasha arifmetigi qabıl qılınadı.

Joqarıdaǵılardan kórinedi, elektr tarmaqta quwatlıq aǵımlarınıń dáslepki bólistiriliwin anıqlaw hám sonday-aq, ısıraptı itibarǵa alıw procesindegi esaplawlar nominal kernew boyınsha alıp barılıwı sebepli nátiyjelerdiń juwıq mánisleri payda boladı. Sol sebepli usı usıldan elektr tarmaqların joybarlaw maqsetlerinde hám basqa— jaǵdaydı esaplawda úlken anıqlıq talap etilmeytuǵın jaǵdaylarda paydalanıw múmkin.

4.2. Quramalı-jabıq elektr tarmaqlarda quwatlıq aǵımlarınıń bólistiriliwin esaplaw

Úsh hám onnan artıq tárepten támiynleniwshi túyinlerge iye bolǵan yaki eki hám onnan artıq gárezsiz konturlarǵa iye bolǵan elektr tarmaǵı quramalı jabıq elektr tarmaǵı dep ataladı.

Bunday tarmaqlarda quwatlıq aǵımlarınıń bólistiriliwin tarmaqtaǵı ısıraptı itibarǵa almastan (shama menen) esaplawda kontur togı teńlemelerinen paydalanıw maqsetke muwapıq.

Bul usılda elektr tarmaǵınıń barlıq gárezsiz konturları ushin Kirxgoftıń ekinshi nızamı boyınsha dúzilgen teńlemelerden payda bolǵan sistema sheshiledi.

Bul nızamǵa tiykarlanıp, kontur shaqapshalarında kernew páseyiwleriniń jıyındısı ondaǵı EQK lerdiń jıyındısına teń boladı. Demek, n dana shaqapshadan ibarat bolǵan konturda EQK deregi bolmasa, ol jaǵdayda teńleme tómendegi kóriniste boladı:

$$\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \hat{Z}_i = 0. \quad (4.4)$$

Bul jerde, $\hat{Z}_i$, $\dot{S}_i$ - konturdiń i – shaqapshası tolıq qarsılıǵınıń qospası hám ondaǵı tolıq quwatlıq aǵımı.

Eger (4.4) de tolıq qarsılıqlar hám quwatlıq aǵımların $\hat{Z}_i = R_i + jX_i$, $\dot{S}_i = P_i + jQ$ kórinisinde ańlatsaq, ol tómendegi eki teńlemege ajıraladı:

$$\sum_{i=1}^n P_i R_i + \sum_{i=1}^n Q_i X_i = 0, \quad (4.4a)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i - \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (4.4b)$$

(4.4a) nı tómendegi kóriniste jazıw múmkin:

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i \frac{R_i}{X_i} + \sum_{i=1}^n Q_i R_i \frac{X_i}{R_i} = 0. \quad (4.5)$$

Konturdiń shaqapshaları liniyalardan ibarat bolıp, onı bir jınıslı dep qarasaq, yaǵnıy $\frac{R_i}{X_i} = \alpha = \text{const}$ yaki $\frac{X_i}{R_i} = \frac{1}{\alpha} = \text{const}$ bolsa, ol jaǵdayda (4.5) teńleme tómendegi kóriniske keledi:

$$\alpha \sum_{i=1}^n P_i X_i + \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (4.6)$$

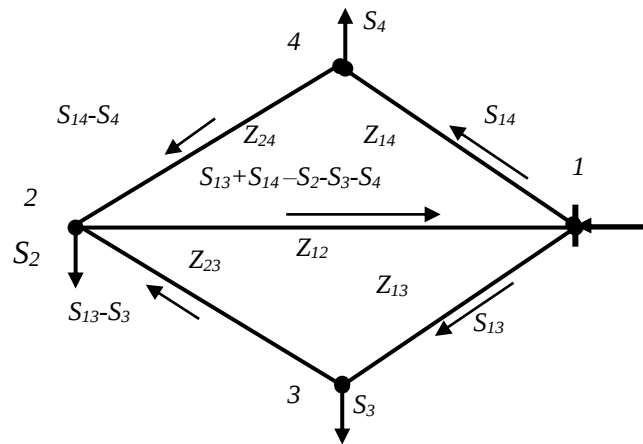
(4.6) teńlemeniniń hár eki tárepini α ǵa kóbeytirip, payda bolǵan teńlemenini (4.4b) teńlemege qosıw sonday-aq, (4.6) nıń hár eki tárepini α ǵa bólip, payda bolǵan teńlemeden (4.4b) nı ayırıw nátiyjesinde tómendegi teńlemelerdi payda qılamız:

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i = 0, \quad (4.7a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (4.7b)$$

(4.7a) teńleme júklemeleriniń quwatlıqları tek aktiv hám shaqapshaların qarsılıqları tek reaktiv xarakterde bolǵan kontur ushın hám (4.7b) teńleme júklemeleriniń quwatlıqları tek reaktiv hám shaqapshaların qarsılıqları tek aktiv bolǵan kontur ushın jazılǵan teńlemeler esaplanadı. Demek, bul jaǵdayda elektr tarmaqta aktiv hám reaktiv quwatlıqlar bólistiriliwlerin óz-aldına ǵárezsiz sxemalar ushın (4.7a) hám (4.7b) teńlemelerdi sheshiw tiykarında anıqlaw múmkin. Bul usıl “sxemalarǵa ajratıw” usılı dep júritiledi.

Mısal ushın tómendegi quramalı elektr tarmaqta (4.3-súwret) quwatlıq aǵımını bólistiriliwin anıqlaw máselesin kórip ótemiz.



4.3-súwret

Sxeması 4.3-súwrette keltirilgen elektr tarmaqta tolıq quwatlıq aǵımınıń bólistiriliwi ulıwmalıq jaǵdayda hár eki ǵárezsiz konturlar ushın Kirxgoftıń 2-nızamı boyınsha (4.4) kórinisinde jazılǵan kompleks teńlemeler sistemasın sheship, belgisizler $\dot{S}_{13}$, $\dot{S}_{14}$ lerdı tabıw arqalı ámelge asırıladı:

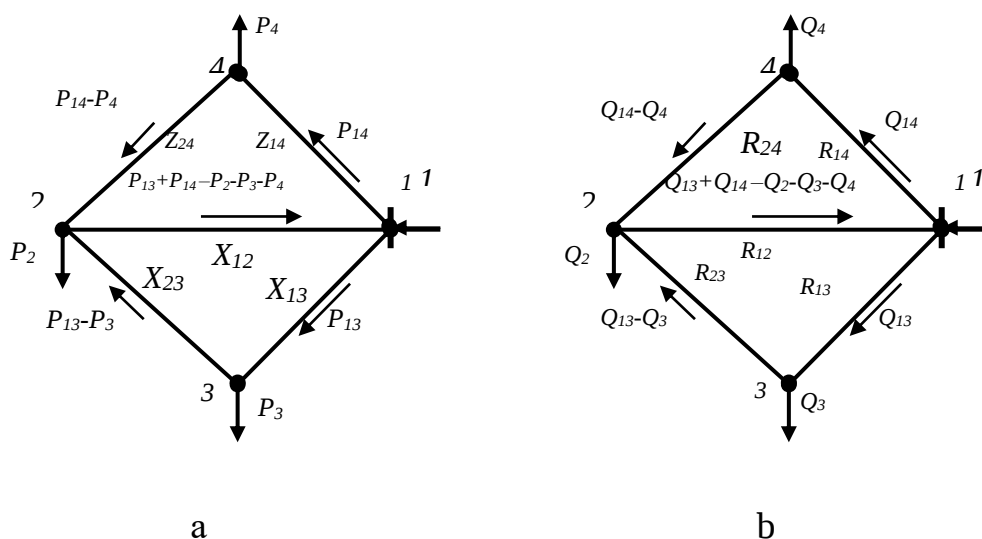
$$\begin{cases} \dot{S}_{14}\hat{Z}_{14} + (\dot{S}_{14} - \dot{S}_4)\hat{Z}_{24} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{14} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4)\hat{Z}_{12} = 0, \\ \dot{S}_{13}\hat{Z}_{13} + (\dot{S}_{13} - \dot{S}_3)\hat{Z}_{23} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{14} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4)\hat{Z}_{12} = 0. \end{cases}$$

“Sxemalarǵa ajratıw” usılında bolsa, 4.3-súwrettegi sxema tómendegi sxemalarǵa ajratılıp (4.4,a, 4.4,b-súwret), olar ushın joqarıdaǵı nızam boyınsha dúzilgen teńlemelerden ibarat bolǵan (4.7a) hám (4.7b) kórinisindegi haqıyqıy teńlemeler sistemaların sheshiw tiykarında aktiv hám reaktiv quwatlıqlar aǵımları óz-aldına esaplanadı.

Eger gárezsiz konturlardı qurawshı shaqapshalar salıstırmalı parametrleri birdey bolğan liniyalardan ibarat dep qarasaq ($r_{01}=\text{const}$, $x_{01}=\text{const}$), ol jaǵdayda (4.7a) hám (4.7b) teńlemeler jánede ápiwayılasadı. Bunda qarsılıqlar ornında sáykes liniyalardıń uzınlıqları payda boladı:

$$\sum_{i=1}^n P l_i = 0, \quad (4.8a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q l_i = 0. \quad (4.8b)$$



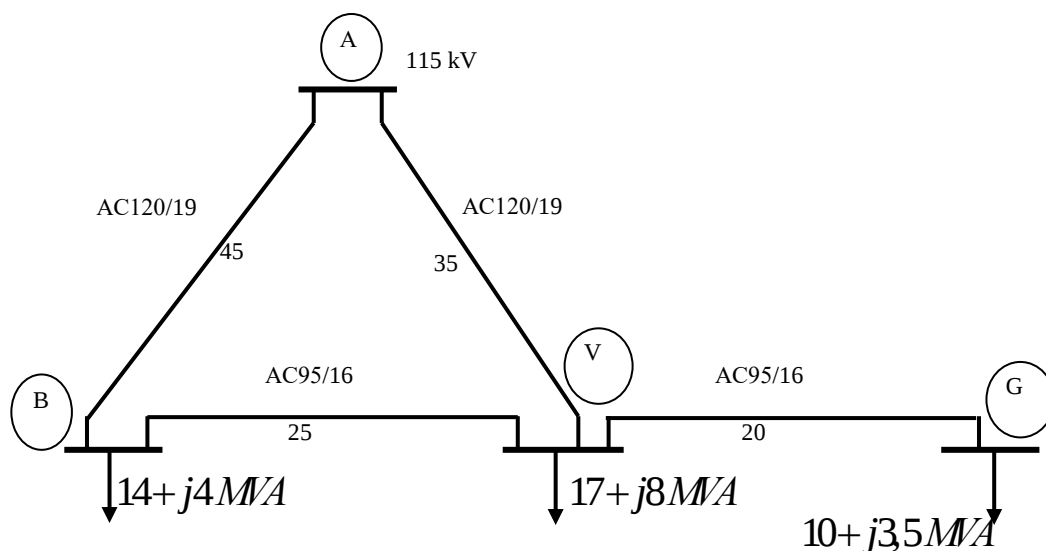
4.4-súwret

(4.8a) hám (4.8b) teńlemelerden ibarat bolğan sistemalardı sheshiw arqalı quwatlıqlar aǵımlarınıń bólistiriliwin shamalap esaplawlarda, ásirese, elektr tarmaqların joybarlawda aǵımınıń dáslepki bólistiriliwin esaplawda paydalanıladı.

4.3. Máseleler sheshiwge úlghiler

4.1-másele. 110 kV kernewli elektr tarmaǵı A podstanciyanıń kernewi 115 kV bolğan shinasınan támiynlenedi. Podstanciyanıń júklemeleri, ótkizgishlerdiń markaları, liniyalardıń kilometr birligindegi uzınlıqları 4.5-súwrettegi sxemada keltirilgen. Elektr tarmaǵında quwatlıqlardıń bólistiriliwi hám B , V , G podstanciyalardıń shinalarındaǵı kernewlerdi tabıń.

Sheshiliwi. Qollanba tablicalaradan liniyalardıń salıstırmalı parametrlerin anıqlaymız: AC120/19 markadağı ótkizgishli liniya ushın $r_0=0,249 \text{ Om/km}$, $x_0=0,427 \text{ Om/km}$, $b_0=2,66 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$; AC95/16 markadağı ótkizgishli liniya ushın $r_0=0,306 \text{ Om/km}$, $x_0=0,434 \text{ Om/km}$, $b_0=2,61 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$.



4.5-súwret

Almastırıw sxemasınıń esap parametrleri, podstanciyalardıń esaplıq júklemelerin tabamız hám elektr tarmaqtıń almastırıw sxemasın quramız (4.6-súwret):

$$Z_{AB} = r_{lAV} + jx_{lAV} = (r_{0AV} + jx_{0AV}) \cdot l_{AV} = (0,249 + j0,427) \cdot 45 = 11,2 + j19,21 \text{ Om}$$

$$B_{cAB} = b_{0AV} \cdot l_{AV} = 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 45 = 1,197 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$

$$Z_{AV} = (0,249 + j0,427) \cdot 35 = 8,71 + j14,94 \text{ Om}, B_{sAV} = 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 35 = 0,931 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$

$$Z_{BV} = (0,306 + j0,434) \cdot 25 = 7,65 + j10,85 \text{ Om}, B_{sBV} = 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 0,6525 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$

$$Z_{VG} = (0,306 + j0,434) \cdot 20 = 6,12 + j8,68 \text{ Om}$$

$$S_B' = P_B' + jQ_B' = P_B + j \left(Q_B - U_n^2 \cdot \frac{B_{sAB} + B_{sBV}}{2} \right) =$$

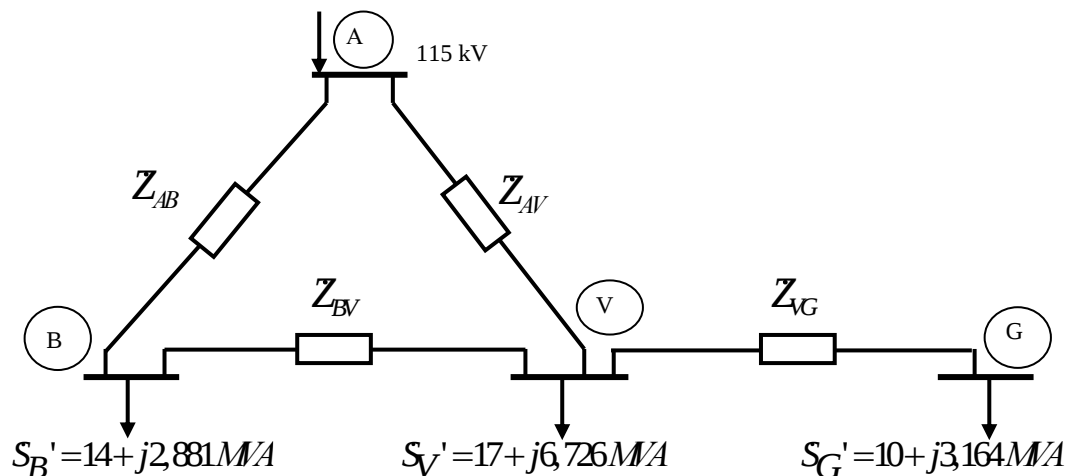
$$= 14 + j \left(4 - 110^2 \cdot \frac{1,197 \cdot 10^{-4} + 0,6525 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 14 + j2,881 \text{ MVA}$$

$$S_V' = P_V' + jQ_V' = P_V + j \left(Q_V - U_n^2 \cdot \frac{B_{sAV} + B_{sBV} + B_{sVG}}{2} \right) = 17 +$$

$$+ j \left(8 - 110^2 \cdot \frac{0,931 \cdot 10^{-4} + 0,6525 \cdot 10^{-4} + 0,522 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 17 + j6,726 \text{ MVA}$$

$$S_G' = P_G' + jQ_G' = P_G + j \left(Q_G - U_n^2 \cdot \frac{B_{sVG}}{2} \right) =$$

$$= 10 + j \left(3,5 - 110^2 \cdot \frac{0,522 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 10 + j3,164 \text{ MVA}$$



4.6-súwret

VG liniyasında quwatlıq ısırabı hám V noqattağı summalıq júklemini tabamız:

$$\Delta P_{VG} = \frac{10^2 + 3,164^2}{110^2} \cdot 6,12 = 0,055 \text{ MWt};$$

$$\Delta Q_G = \frac{10^2 + 3,164^2}{110^2} \cdot 8,68 = 0,079 \text{ MVAR};$$

$$S_{\Sigma} = 17 + j6,726 + 10 + j3,164 + 0,055 + j0,079 = 27,055 + j9,969 \text{ MVA}$$

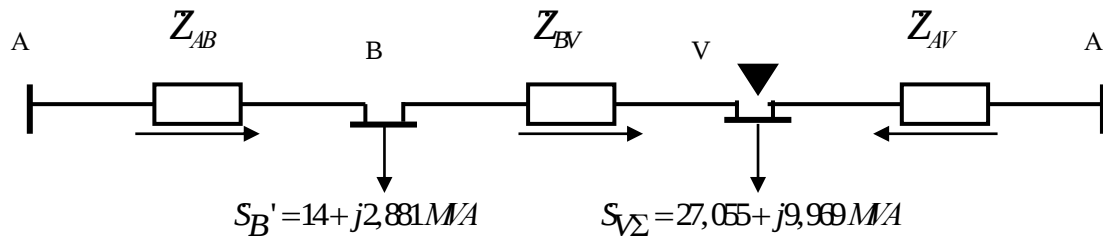
Saqıyna sıyaqlı tarmaqtıń támiynlew punktinde, yaǵnıy A podstanciyanıń shinasın ashıp, shetlerindegi kernewler mánisi hám fazası boyınsha teń bolǵan eki tárepten támiynleniwshi tarmaq sxemasın payda etemiz (4.7-súwret).

AB bas bólekтеgi quwatlıq aǵımın esaplaymız:

$$S_{AB} = \frac{S_B' \cdot (\hat{Z}_{BV} + \hat{Z}_{AB}) + S_{V\Sigma} \cdot \hat{Z}_{AV}}{\hat{Z}_{AB} + \hat{Z}_{BV} + \hat{Z}_{AV}} =$$

$$= \frac{(14 + j2,881) \cdot (7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94) + (27,055 + j9,969) \cdot (8,71 - j14,94)}{11,2 - j19,21 + 7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94} \times$$

$$\times \frac{(27,055 + j9,969) \cdot (8,71 - j14,94)}{11,2 - j19,21 + 7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94} = 17,011 + j4,889 \text{ MVA}$$



4.7-súwret

BV bólekтегі қуатlıқ ағımı:

$$S_{BV} = S_{AB} - S_B' = 17,011 + j4,889 - 14 - j2,881 = 3,011 + j2,008 \text{ MVA}$$

VA bólekтегі қуатlıқ ағımı:

$$S_{VA} = S_{BV} - S_{V\Sigma} = 3,011 + j2,008 - 27,055 - j9,969 =$$

$$= -24,044 - j7,961 \text{ MVA}$$

S_{VA} қуатlıқтың актив hám реактив қураушлары aldındaғы теріс белгiler olardıń A podstanciyadan B podstanciyаға qarap baғıtlanganlıғın bildiredi. Anıqlanған қуатlıқ bólistiriliwin 4.7-súwrette keltirilgen sxemada belgileymiz. V noqat қуатlıқ ағımınıń bóliniw noqatı esaplanadı.

Nátıyjelerdiń tuwrılıғın tekseriw ushın AV bas bólekтегі қуатlıқты basqa jol menen esaplaymız:

S_{AV} nıń eki túrli jol menen tabılған mánisleriniń bir qıylılıғı esaplawlardıń tuwrılıғın tastıyqlaydı.

AV bólekте қуатlıqlar ısırabın tabamız:

$$\Delta P_{AV} = \frac{24,044^2 + 7,961^2}{110^2} \cdot 8,71 = 0,462 \text{ MВт};$$

$$\Delta Q_{AV} = \frac{24,044^2 + 7,961^2}{110^2} \cdot 14,94 = 0,792 \text{ Mвар}.$$

AV bólektiń baslanıwındaғы қуатlıқ:

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = 24044 + j7961,0462 - j0792 = 24506 + j8753 \text{ MB.}$$

BV bólekте quwatlıqlar ısırabın tabamız:

$$\Delta P_{BV} = \frac{3,011^2 + 2,008^2}{110^2} \cdot 7,65 = 0,008 \text{ MВт};$$

$$\Delta Q_{BV} = \frac{3,011^2 + 2,008^2}{110^2} \cdot 10,85 = 0,012 \text{ Mвар.}$$

AB bólektiń aqırındaǵı quwatlıq:

$$\dot{S}_{AB}^{(B)} = 3,011 + j2,008 + 0,008 + j0,012 + 14 + j2,881 = 17,019 + j4,901 \text{ MVA}$$

AB bólekте quwatlıqlar ısırabı:

$$\Delta P_{AB} = \frac{17,019^2 + 4,901^2}{110^2} \cdot 11,2 = 0,29 \text{ MВт};$$

$$\Delta Q_{AB} = \frac{17,019^2 + 4,901^2}{110^2} \cdot 19,21 = 0,498 \text{ Mвар.}$$

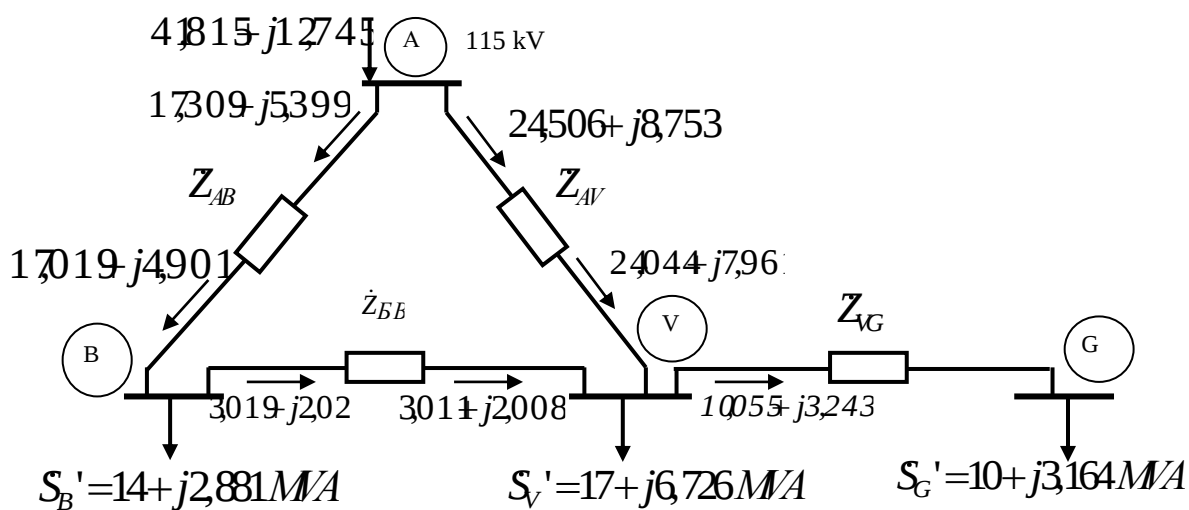
AB bólektiń baslanıwındaǵı quwatlıq:

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = 17,019 + j4,901 + 0,29 + j0,498 = 17,309 + j5,399 \text{ MVA}$$

Solay etip, kórilip atırǵan elektr tarmaǵı A podstanciyanıń shinasınan tómendegishe quwatlıq aladı:

$$\begin{aligned} \dot{S}_A &= \dot{S}_{AB}^{(A)} + \dot{S}_{AV}^{(A)} - jU_A^2 \cdot \frac{B_{sAB} + B_{sAV}}{2} = 17,309 + j5,399 + 24,506 + j8,753 - \\ &- j115^2 \cdot \frac{1,197 \cdot 10^{-4} + 0,931 \cdot 10^{-4}}{2} = 41,815 + j12,745 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Tabılǵan quwatlıq bólistiriliwi 4.8-súwrette súwretlengen.



4.8-súwret

Túyinlerdegi kernewlerdi anıqlaymız:

$$U_B = U_A - \frac{P_{AB}^{(A)} \cdot r_{AB} + Q_{AB}^{(A)} \cdot x_{AB}}{U_A} = 115 - \frac{17,309 \cdot 11,2 + 5,399 \cdot 19,21}{115} = 112,41 \text{ kV};$$

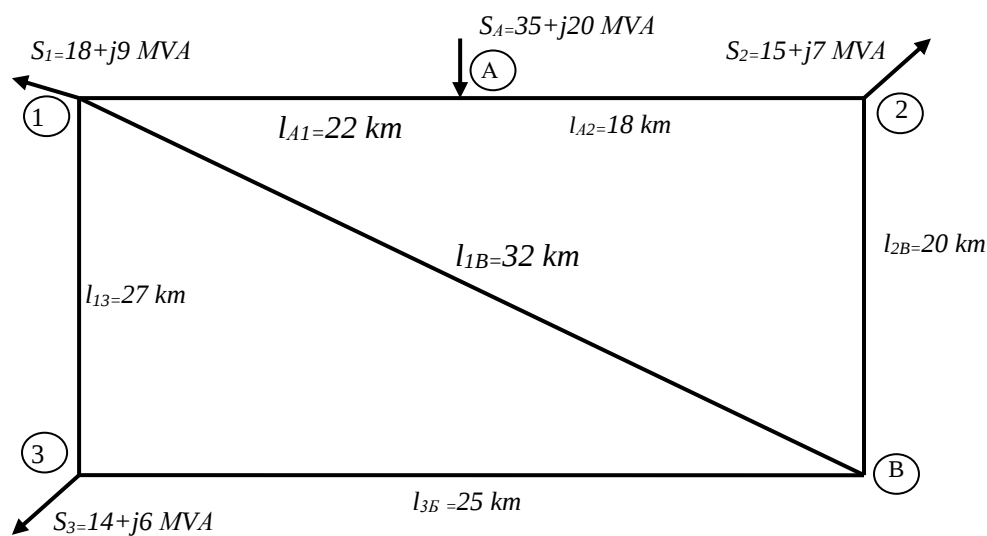
$$U_B = U_A - \frac{P_{AB}^{(A)} \cdot r_{AB} + Q_{AB}^{(A)} \cdot x_{AB}}{U_A} = 115 - \frac{24506871 + 87531494}{115} = 1101 \text{ K}$$

$$U_G = U_V - \frac{P_V^{(V)} \cdot r_V + Q_V^{(V)} \cdot x_V}{U_V} = 112,6 - \frac{10,055 \cdot 6,12 + 3,243 \cdot 8,68}{112,6} = 111,8 \text{ kV}.$$

4.2-másele. Sxeması tómendegi 4.9-súwrette keltirilgen bir jınıslı konturlardan quralǵan quramalı jabıq elektr tarmaqta quwatlıqlar aǵımınıń bólistiriliwin tarmaqtaǵı ısıraptı esapqa almastan anıqlań.

Balanslawshı túyinnen tısqarı barlıq túyinlerdegi tolıq quwatlıqlar hám liniyalardıń uzınlıqları sxemada keltirilgen.

Sheshiliwi. Elektr tarmaqtıń konturları bir jınıslı bolǵanlıǵı ushın olardaǵı quwatlıq aǵımların liniyalardıń uzınlıqları boyınsha esaplaymız:



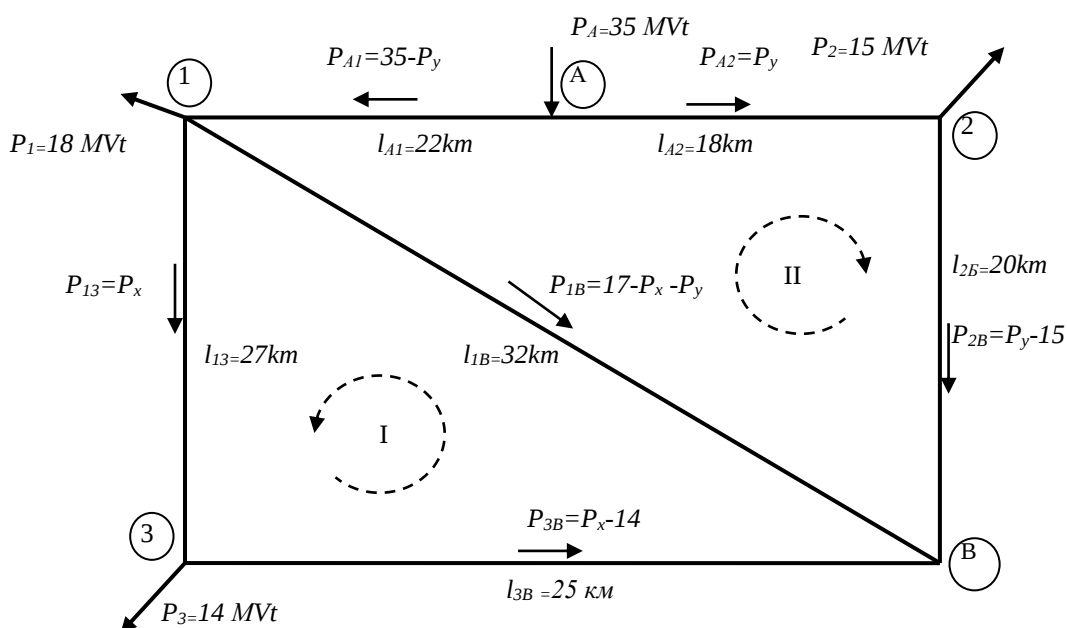
4.9-súwret

Esaplawda qolay bolıwı ushın aktiv hám reaktiv quwatlıq aǵımların esaplawdı óz aldına ámelge asıramız.

Elektr tarmaqta aktiv quwatlıqtıń bólistiriliwin esaplaw. Tarmaqtıń sxemasın qayta sıızıp, túyinlerge aktiv quwatlıqlardı qoyamız hám liniyalarda

quwatlıq ağımların anıqlaymız. Bunıń ushın aldın hár bir gárezsiz konturdıń bir shaqapshasında (házirgi jaǵdayda liniyasında) quwatlıq ağımların belgisiz sıpatında qabıl qılıp, qalǵan shaqapshalardaǵı quwatlıq ağımların usı eki belgisiz hám túyinlerdegi quwatlıqlar arqalı (Kırxgoftıń birinshi nızamınan paydalanıp) ańlatamız.

Birinshi konturda (I kontur) 1-3 shaqapshada 1-túyinnen 3-túyin tárepke aǵıwshı quwatlıqtı belgisiz sıpatında qabıl qılıp, P_x menen hám ekinshi konturda (II kontur) A-2 shaqapshada A-túyinnen 2-túyin tárepke aǵıwshı quwatlıqtı belgisiz sıpatında qabıl qılıp, P_y penen belgileyik. Qalǵan barlıq shaqapshalardaǵı quwatlıqlar ağımlarınıń baǵıtların qálegenshe qabıl qılıp (mısalı, 4.10-súwrettegi baǵıtlarda), olardı túyinler ushın Kırxgoftıń birinshi nızamınan paydalanıp ańlatamız.



4.10-súwret

Kontur quwatlıqlarınıń baǵıtların qálegenshe qabıl qılıp, olar ushın Kırxgoftıń ekinshi nızamı boyınsha teńlemeler dúzemiz. Bunda shaqapshadaǵı quwatlıq baǵıtı kontur quwatlıǵınıń baǵıtı menen birday bolǵanda sáykes qurawshı óń hám hár qıylı bolǵanda teris belgi menen alınadı:

$$\begin{cases} 27P_x + 25(P_x - 14) - 32(17 - P_x - P_y) = 0, \\ 18P_y + 20(P_y - 15) - 32(17 - P_x - P_y) - 22(35 - P_y) = 0. \end{cases}$$

Payda bolğan sistemanı ıqshamlap sheshemiz hám nátiyjede belgisiz quwatlıq ağımların tabamız: $P_x=4,58 \text{ MVt}$, $P_y=15,96 \text{ MVt}$.

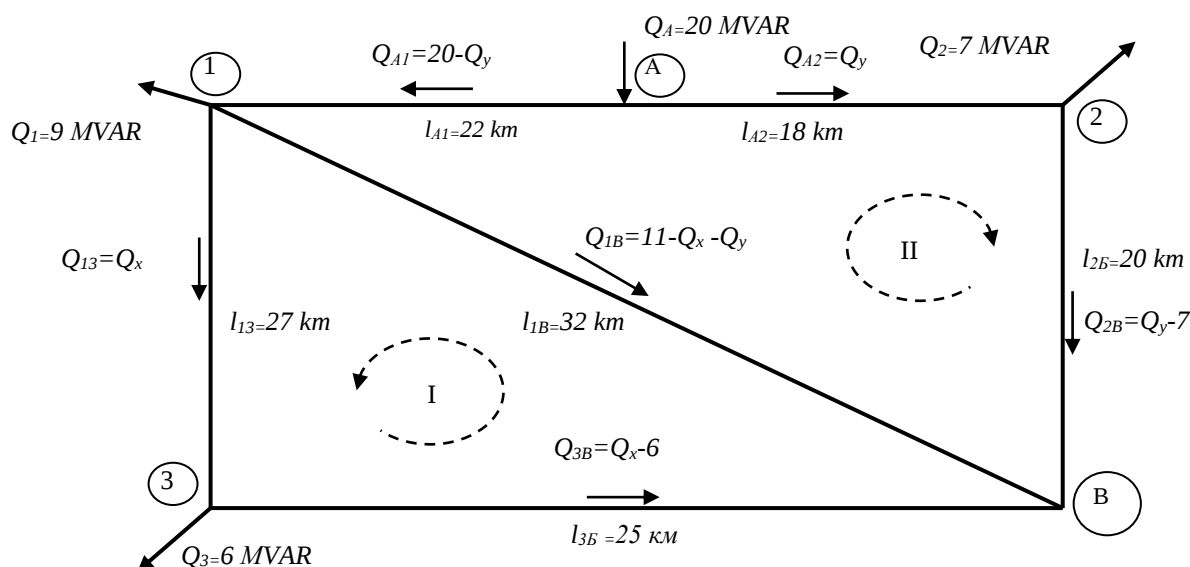
Tabılğan quwatlıqlardı shaqapshalardağı quwatlıqlar ağımlarınıń ańlatpalarına (4.10-súwret) qoyıp, olardı anıqlaymız: $P_{A2}=15,96 \text{ MVt}$, $P_{2B}=0,96 \text{ MVt}$, $P_{A1}=19,04 \text{ MVt}$, $P_{13}=4,58 \text{ MVt}$, $P_{3B}=-9,42 \text{ MVt}$, $P_{1B}=-3,54 \text{ MVt}$.

Shaqapshalardağı reaktiv quwatlıq ağımların da usı tárizde tabamız (4.11-súwret).

$$\begin{cases} 27Q_x + 25(Q_x - 6) - 32(11 - Q_x - Q_y) = 0 \\ 18Q_y + 20(Q_y - 7) - 32(11 - Q_x - Q_y) - 22(20 - Q_y) = 0 \end{cases}$$

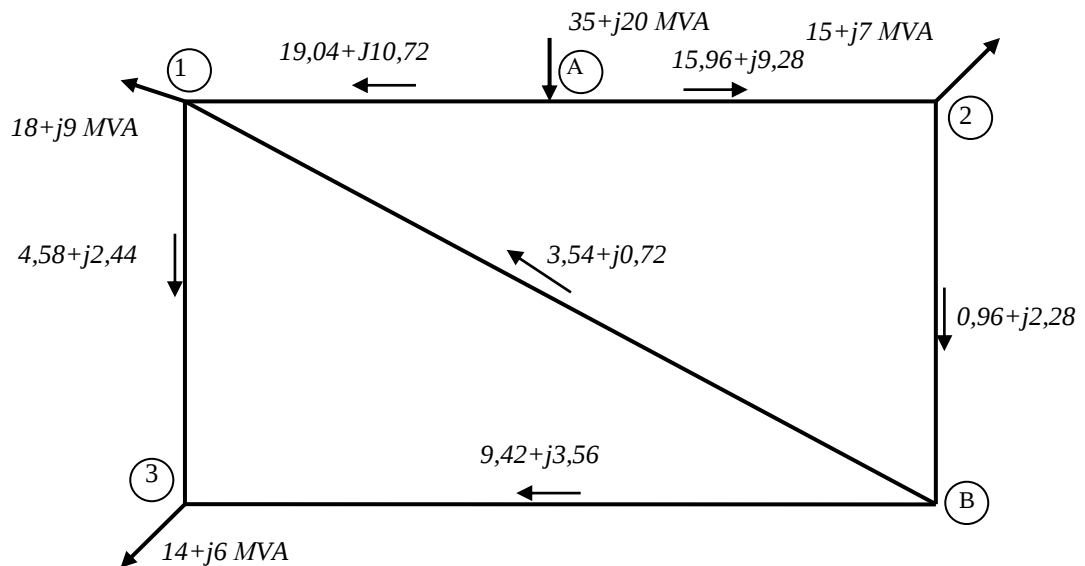
$$Q_x = 2,44 \text{ MVt}, Q_y = 9,28 \text{ MVt}.$$

$$Q_{A2} = 9,28 \text{ MVAR}, Q_{2B} = 2,28 \text{ MVAR}, Q_{A1} = 10,72 \text{ MVAR}, Q_{13} = 2,44 \text{ MVAR}, Q_{3B} = -3,56 \text{ MVAR}, Q_{1B} = -0,72 \text{ MVAR}.$$



4.11-súwret

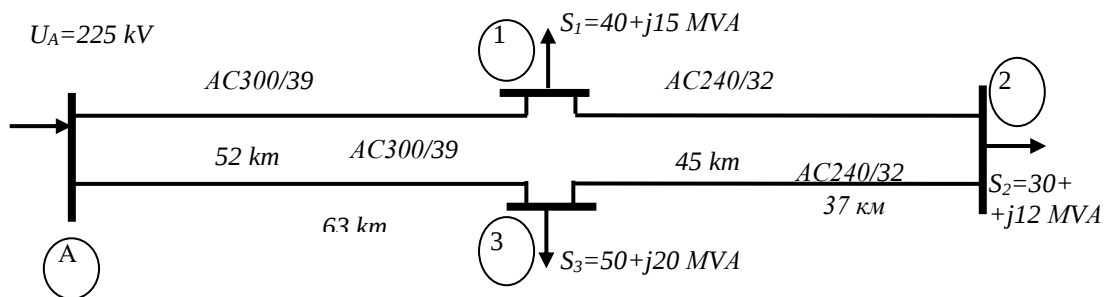
Shaqapshalardağı tolıq quwatlıq ağımlarınıń anıqlanğan mánislerin 4.12-súwrettegi sxemada keltiremiz.



4.12-súwret

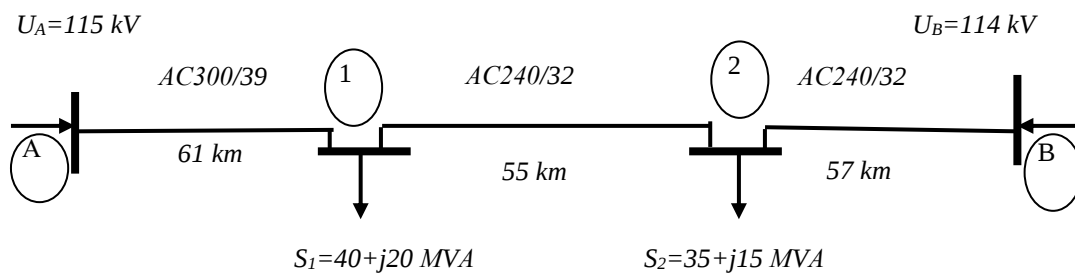
4.4. Óz betinshe sheshiw ushın máseleler

1. Tómenдеgi elektr tarmaqta (4.13-súwret) ısıraptı esapqa alǵan halda quwatlıq aǵımınıń bólistiriliwi hám podstanciyalardıń shinalarındaǵı kernewlardı anıqlań.



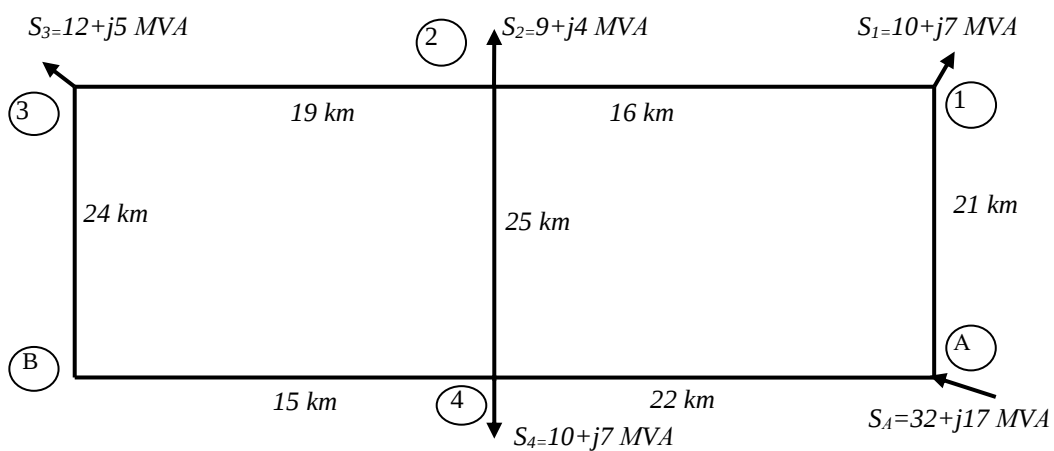
4.13-súwret

2. Sxeması 4.14-súwrette súwretlengen elektr tarmaqta ısıraptı esapqa alǵan halda quwatlıq aǵımınıń bólistiriliwin hám túyinlerdegi kernewlerdi tabıń.



4.14-súwret

3. Sxeması 4.15-súwrette keltirilgen bir jınıslı konturlardan quralğan quramalı jabıq elektr tarmaqta quwatlıqlar aǵımınıń bólistiriliwin tarmaqtaǵı ısıraptı esapqa almastan anıqlań.



4.15-súwret

5 – BAP. ELEKTR TARMAQLARÍNDÁ KERNEWDI RETLEW

5.1. Uhwma túsinikler

Elektr tarmaqtıń kernewi hámme waqıt júkleme, támiynlew dereginiń jumıs jaǵdayları, shıńjırdıń qarsılıǵı ózgeriwi menen ózgerip turadı. Kernewdiń awısıwı barlıq waqıtta da ruxsat etilgen minimal hám maksimal mánisler aralığında bolabermeydi. Sol sebepli elektr tarmaqtıń turǵın islewi hám paydalanıwshılardı sıpatlı elektr energiya menen támiynlew ushın ondaǵı kernewdiń mánisin baqlaw hám zárúr bolsa onı retlew lazım.

Kernewdi retlew dep elektr sistemasınıń xarakterli noqatlarında kernew dárejesin arnawlı texnikalıq qurılmalar járdeminde talapqa muwapıq ózgartiriw procesine aytıladı.

Kernewdi retlew usılları támiynlew orayında (TO) ámelge asırılatuǵın *oraylasqan* hám tikkeley paydalanıwshılarda ámelge asıratuǵın *jergilikli* usıllarǵa bólinedi.

Kernewdi jergilikli retlewdi toparlı hám individual usıllarǵa bóliw múmkin. Toparlı retlew paydalanıwshılar toparı ushın, individual retlew tiykarınan arnawlı maqsetlerde ámelge asırıladı.

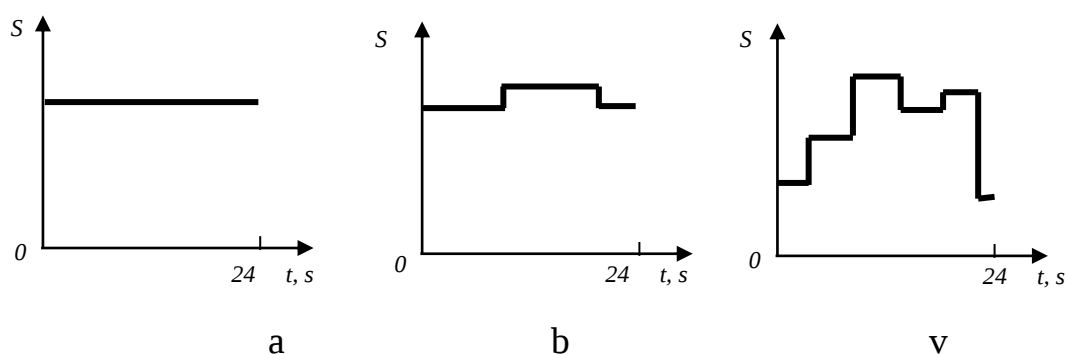
Joqarıda kórsetilgen kernewdi retlew tiplerin júklemeniń ózgeriwi xarakterine baylanıslı ráwishte bir neshe tiplerge ajıratıw múmkin. Mısalı, kernewdi oraylasqan retlewde úsh kishi tipti ajıratıw múmkin. Bular: kernewdi stabillew; kernewdi eki baǵanalı retlew hám kernewdi qarama-qarsı retlew esaplanadı.

Kernewdi *stabillew* ámelde júklemesi ózgermeytuǵın paydalanıwshılar ushın, mısalı, kernew dárejesi bir qıylı uslap turılıwı lazım bolǵan úsh smenalı kárxanalar ushın qollanıladı. Bunday paydalanıwshınıń júkleme grafigi 5.1,a-súwrette kórsetilgen.

Ayqın ańlatılǵan eki baǵanalı júkleme grafigine iye bolǵan paydalanıwshılar (5.1,b-súwret), mısalı, bir smenalı kárxanalar ushın *eki baǵanalı retlew* qollanıladı.

Bunda sutka dawamında júkleme grafigine sáykes ráwishte kernewdiń eki dárejesi uslap turıladı.

Júklemе sutka dawamında ózgermeli bolǵan jaǵdaylarda *qarama-qarsı retlew* ámelge asırıladı (5.1,v-súwret). Júklemenin hár bir mánisine kernew hám kernew ısırabınıń sáykes mánisleri tuwrı keledi. Sol sebepli júkleme ózgeriwi menen kernew de ózgeredi. Bunda kernewdiń awısıwı ruksat etilgeninen artıp ketpewi ushın onı júklemege baylanıslı ráwishte retlep turıw lazım.



5.1-súwret. Júkleme grafikler. a-turaqlı; b-eki baǵanalı; v-kóp baǵanalı.

Júklemе tek sutka dawamında emes, bálki jıl dawamında da ózgeredi. Mısalı, jıl dawamında eń úlken júkleme gúzgi-qısqı máwsim dáwirinde, eń kishi júkleme bolsa jazǵı dáwirde boladı. Qarama-qarsı retlew kernewdi tek júklemenin sutka dawamında ózgeriwi boyınsha emes, bálki máwsim dawamında da ózgeriwi boyınsha retlewden ıbarat. Ol elektr stanciyaları hám podstanciyaları shinalarındaǵı kernew dárejesin eń úlken júkleme dáwirinde asırılǵan halda, eń kishi júkleme dáwirinde bolsa kemeytirilgen halda uslıp turıwdı názerde tutadı.

5.2. Kernewdi qarama-qarsı retlew

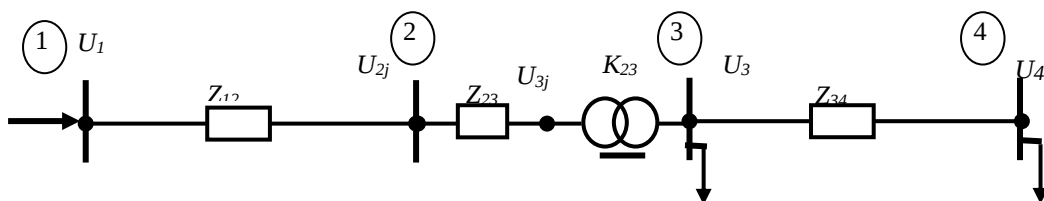
Kernewdi qarama-qarsı retlew elektr tarmaqlarında júdá keń qollanıladı. Sol sebepli bul usıl menen jaqınıraǵ tanısıw maqsetinde sxeması 5.2-súwrette kórsetilgen tarmaqtı kórip ótemiz. Onda Z_{12} –1- hám 2- punktler arasındaǵı liniyanıń qarsılıǵı; Z_{23} –2- hám 3- punktler arasındaǵı rayon podstanciyasındaǵı eki oramlı transformatordıń qarsılıǵı; K_{23} –ideal transformatordıń transformaciyalaw koefficienti; Z_{34} –3- hám 4- punktler arasındaǵı liniya qarsılıǵı; U_1 –támiyinlew

orayı shinasındaǵı kernew; U_2 –rayon podstanciyasınıń birlemshi –joqarı (JK) shinasındaǵı kernew; U_{3j} –rayon podstanciyası ekilemshi–tómengi (TK) shinasındaǵı kernewdiń joqarı tárepke keltirilgen mánisi; U_3 –rayon podstanciyasınıń ekilemshi–tómengi (TK) shinasındaǵı kernew; U_4 –paydalanıwshılardaǵı kernew.

Sxemada kórsetilgen noqatlardaǵı kernewler tómendegishe anıqlanadı:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}, \quad U_{3j} = U_2 - \Delta U_{23}, \quad U_3 = \frac{U_{3j}}{K_{23}}, \quad U_4 = U_3 - \Delta U_{34}, \quad (5.1)$$

bul jerde ΔU_{12} , ΔU_{23} , ΔU_{34} –sáykes shaqapshalardaǵı kernew ısırapları.



5.2-súwret. Elektr tarmaqta kernewdi qarama-qarsı retlew.

Minimal júklemeler jaǵdayında 1-2 liniya hám 2-3 transformatorlarda kernew ısırapınıń kemeyiwi nátiyjesinde 3- hám 4-punktlarda jalǵanǵan paydalanıwshılarda kernewdiń artıwı, maksimal júklemeler jaǵdayında bolsa kernew ısırapınıń artıwı nátiyjesinde paydalanıwshılardaǵı kernewdiń kemeyiwi bayqadı. Bunda birinshi jaǵdayda paydalanıwshılardaǵı kernewler maksimal ruxsat etilgen mánisten úlken hám ekinshi jaǵdayda minimal ruxsat etilgen mánisten kishi bolıwı múmkin. Bunday jaǵdaylarda kernewdi retlew zárúrligi payda boladı.

Minimal júklemeler jaǵdayında U_3 imkanı barınsha U_n ǵa jaqın mániske shekem kemeytiriledi. Bul jaǵdayda K_{23} tiń sonday standart mánisin tańlaw lazım, nátiyjede tómendegi shárt orınlansın:

$$U_3 \geq U_n \quad (5.2)$$

Maksimal júklemeler jaǵdayında U_3 ti imkanı barınsha $(1,05-1,1)U_n$ ǵa jaqınaraq mániske shekem arttırıladı. Bul jaǵdayda K_{23} tiń sonday standart mánisin tańlaw lazım, bunda tómendegi shárt orınlansın:

$$U_3 \geq (1,05-1,1)U_n. \quad (5.3)$$

Solay etip, támiynlew orayınan uzaqtağı 4- hám oğan jaqın 3-punktlerdegi paydalanıwshılarda kernewler ruxsat etilgen shegerağa kiritiledi. Maksimal hám minimal júklemeler jaǵdaylarındağı bunday retlewde kernew sáykes ráwishte asırıladı hám páseytiriledi. Sol sebepli bunday retlew qarama-qarsı retlew dep ataladı.

5.3. Páseytiriwshi podstanciyalarda kernewdi retlew

Páseytiriwshi podstanciyaların transformatorlarındağı kernewdi retlew qurılmaları eki túrge bólinedi: a) qozǵatıwsız almasıwıp jalǵaw (QAJ) qurılması; b) júkleme astında retlew (JAR) qurılması. Ádette, retlewshi shaqapshalar transformatordıń kishi jumısslı tok aǵıwshı joqarı oramı tárepinde ornatıladı. Bunıń nátiyjesinde almasıwıp jalǵaw qurılmasınıń islewi jeńillesedi.

5.2-súwrette kórsetilgen ápiwayı sxemanı kórip ótemiz.

Podstanciyanıń JK shinasındağı kernew U_2 elektr stanciyası generatorlarınıń shıǵıwındağı kernewi U_1 den 1-2 liniyadağı kernew ısırabı mánisi ΔU_{12} ge, podstanciya TK shinasındağı JK ge keltirilgen kernew U_{3j} bolsa U_2 den transformator qarsılıǵındağı kernew ısırabı ΔU_{23} ge kishi:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}, \quad U_{3j} = U_2 - \Delta U_{23}.$$

Podstanciya TK shinasındağı kernewdiń haqıyqıy mánisi tómendegishe tabıladı:

$$U_3 = \frac{U_{3j}}{K_{23}} = U_{3j} \frac{U_{tn}}{U_{shax}}, \quad (5.4)$$

bul jerde $K_{23} = \frac{U_{shax}}{U_{tn}}$ - transformatordıń transformaciyalaw koefficienti; U_{shax}

- JK oramı retlew shaqapshasınıń kernewi; U_{tn} – TK oramınıń nominal kernewi.

Transformaciyalaw koefficientin ózgartirip, podstanciyanıń TK tárepindegi kernew U_3 ti ózgartiriw múmkin. Barlıq podstanciyalarda kernewdi retlew quralları tap usı prinsipte isleydi.

Qarama-qarsı retlew shártleri (5.2) hám (5.3) boyınsha

$$V_{\text{нмх}}^{\text{фл}}\% = 5\% \quad V_{\text{нмн}}^{\text{фл}}\% = 0,$$

bul jerde $V_{\text{нмх}}^{\text{фл}}\%$, $V_{\text{нмн}}^{\text{фл}}\%$ - maksimal hám minimal júklemelar jaǵdayları ushın qalengen kernew awısıwınıń nominal kernewge salıstırǵanda procientleri.

Bularǵa sáykes ráwishte

$$U_{3\text{нмх}}^{\text{фл}} = U_n + V_{\text{нмх}}^{\text{фл}}; \quad U_{3\text{нмн}}^{\text{фл}} = U_n + V_{\text{нмн}}^{\text{фл}}.$$

TK tárepindegi kernewdiń haqıyqıy mánisi (5.4) ańlatpadan tabıladı.

Tarmaqtıń maksimal hám minimal elektrlik jaǵdayların esaplaw nátiyjesinde hár eki jaǵday ushın TK tárepindegi kernewdiń JK tárepke keltirilgen mánisleri $U_{3j.\text{max}}$ hám $U_{3j.\text{min}}$ tabıladı. Olar boyınsha maksimal hám minimal júkleme jaǵdayları ushın transformator joqarı oramında qaleniwshi retlew shaqapshası anıqlanadı:

$$U_{\text{шк.нмх}} = U_{3j.\text{нмх}} \cdot \frac{U_{\text{тн}}}{U_{3\text{нмх}}^{\text{фл}}}; \quad U_{\text{шк.нмн}} = U_{3j.\text{нмн}} \cdot \frac{U_{\text{тн}}}{U_{3\text{нмн}}^{\text{фл}}}. \quad (5.5)$$

(5.5) boyınsha anıqlanǵan qaleniwshi shaqapshalar kernewleri (5.2) hám (5.3) shártlerdi orınlawshı eń jaqın standart mánislerge dóńgeleklenedi.

QAJ 11 transformatorında QAJ qurılıması házirgi dáwirde tiykarǵı hám tórt qosımsha shaqapshalı qılıp islep shıǵarıladı. Bunday transformator oramınıń sxeması 5.3-súwrette keltirilgen. Tiykarǵı shaqapsha kernewi transformator joqarı oramınıń nominal kernewi esaplanadı (U_{jn}). Bul shaqapshaǵa sáykes keliwshi transformaciyalaw koefficienti nominal transformaciyalaw koefficienti dep júritiledi. Tórt járdemshi shaqapshalardan paydalanılǵanda transformaciyalaw koefficienti nominaldan sáykes ráwishte +5; +2,5 -2,5 hám -5% ke pariқ qıladı. Transformatordıń ekilemshi (sxemada-tómeni) oramı oǵan jalǵanǵan tarmaqtıń táminlew orayı esaplanadı.

Sol sebepli transformatorlarda ekilemshi oramnıń nominal kernewi tarmaqtıń nominal kernewine salıstırǵanda úlken boladı. Bul pariқ kishi quwatlıqlı transformatorlar ushın 5% hám qalǵanları ushın 10% ti quraydı. Kóz aldımızǵa keltireyik, tiykarǵı shaqapshadan paydalanılǵanda birlemshi shaqapshaǵa tarmaqtıń nominal kernewine teń kernew berilmekte hám saltań islew jaǵdayında TK tárepindegi kernew 1,05 $U_{\text{нл}}$. Bunda qosımsha kernew 5%. QAJ 11

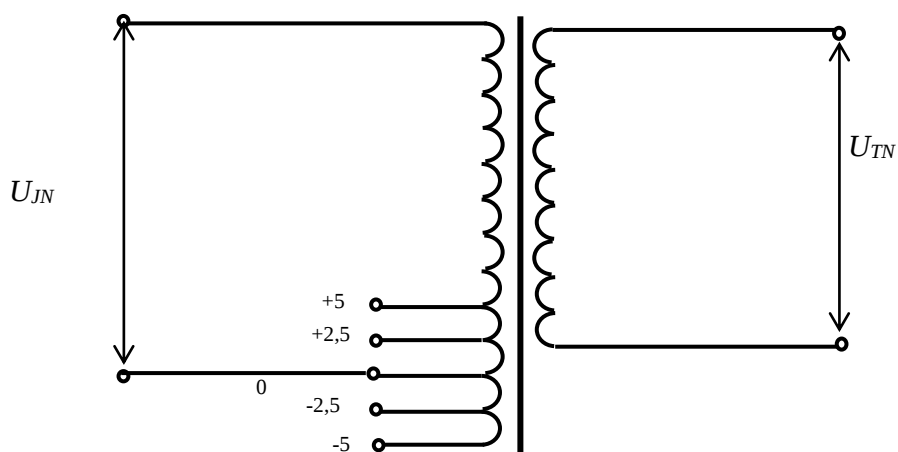
transformator shaqapshasın ózgeritip dóńgeleklengen mánisleri tómendegishe bolǵan qosımsha kernewdi alıw múmkin:

Birlemshi oram shaqapshası, %: +5 +2,5 0 -2,5 -5

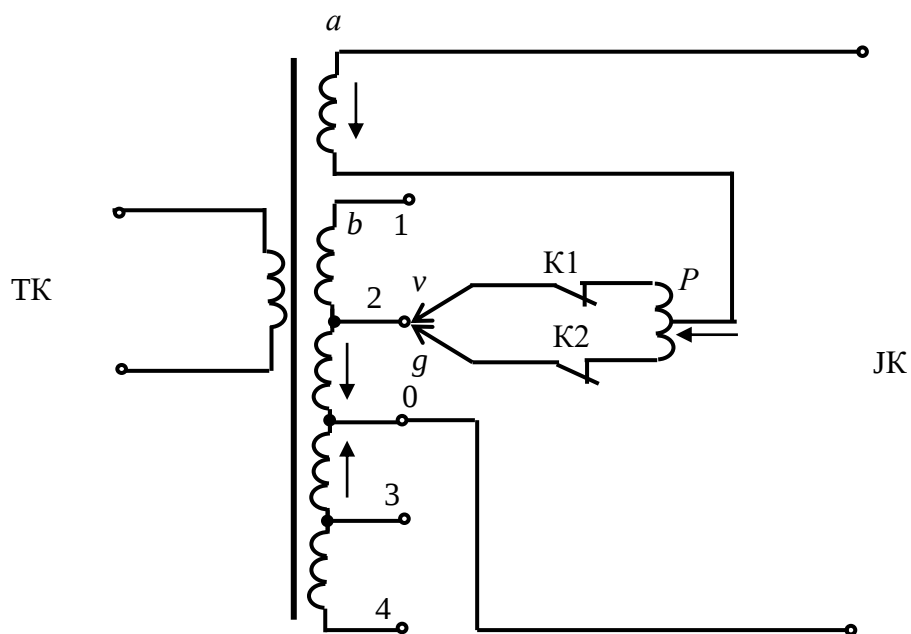
Salt islew jaǵdayında TK

tárepindegi kernew ($U_m/U_{N.m}$): 1 1,025 1,05 1,075 1,1

Qosımsha kernew, %: 0 2,5 +5 +7,5 +10



5.3-súwret. QAJ lı transformatordıń oramları sxeması



5.4-súwret. JAR lı transformatordıń oramları sxeması

QAJ lı transformatordıń retlew shaqapshaların almaslap jalǵaw ushın aldın onı tarmaqtan ajıratıw talap etiledi. Bunday almaslap jalǵawlar kem-júklemelerdi

máwsimli ózgerislerin mólsherlep ámelge asırıladı. Sol sebepli sutka dawamındaǵı maksimal hám minimal júkleme jaǵdaylarında (mısalı, kúndizi hám túnde) QAJ lı transformator bir retlewshi shaqapsha hám soǵan sáykes jalǵız transformaciyalaw koefficienti menen isleydi. Bunda kernewdi qarama-qarsı retlew talapların ámelge asırıw, yaǵnıy (5.2) hám (5.3) shártlerin orınlaw múmkin emes.

Ornatılǵan JAR qurılmalı **kernewdi júkleme astında retrlewshi** transformatorlar QAJ lı transformatorlardan almaslap jalǵawshı arnawlı qurılma hám sonday-aq shaqapshalar sanınıń kópligi, diapazonınıń úlkenligi menen parıq qıladı. Mısalı, JK oramınıń tiykarǵı shaqapshası kernewi 115 kV bolǵan transformator hár biri shaqapshasındaǵı kernew qońsı shaqapshadaǵı kernewlerden 1,78 % ten parıq qılıwshı 18 retlew dárejeli ± 16 retlew diapozonına iye.

5.4-súwrette JAR lı transformator oramlarınıń sxeması súwretlengen. Bul transformatordıń JK oramı eki bólimnen –retlenbeytuǵın *a* hám retlenetuǵın *b* bólimlerden quralǵan. Retlenetuǵın bólimniń 1-4 qozǵalmas kontaktlarında bir qatar shaqapshalar bar. 1 ,2 shaqapshalar tiykarǵı oram oramları menen bir qıylı baǵıttaǵı oramlar bólimine sáykes keledi (toktıń baǵıtı 5.4-súwrette strelkalar járdeminde kórsetilgen). 1, 2 shaqapshalar jalǵanganda transformatorlardıń transformaciyalaw koefficienti asadı. 3, 4 shaqapshalar tiykarǵı oram oramlarına salıstırǵanda qarama-qarsı baǵıttaǵı oramlar bólimine tuwra keledi. Olardıń jalǵanıwı transformaciyalaw koefficientin kemeytiredi, sebebi olar tiykarǵı oram oramları bir bóliminiń tásinin kompensaciyalaydı. Transformator JK oramınıń tiykarǵı shıǵıw ornı bolıp 0 noqatı esaplanadı.

Tiykarǵı oram oramları menen bir qıylı hám qarama-qarsı baǵıttaǵı oramlar sanı bir qıylı bolmaslıǵı múmkin. Oramnıń retlewshi bóliminde qozǵalıwshı *v* hám *g*, qozǵalmas K1 hám K2 kontaktlardan hámde R reaktorlardan quralǵan almaslap jalǵawshı qurılma bar. Reaktordıń ortası transformator oramınıń retlenbeytuǵın *a* bólimi menen tutasqan. Normal shárayatta JK oramı togı reaktor oramınıń eki yarımlarına teń bólistiriledi. Sol sebepli bunday jaǵdayda reaktorda magnit aǵımı hám sonday-aq kernew ısırabı kem boladı.

Kóz aldımızǵa keltireyik, qurılmanı shaqapsha 2 den shaqapsha 1 ge almaslap jalǵaw talap etiledi. Bunda kontaktor K1 úziledi. Qozǵalıwshı kontakt v shaqapsha kontaktı 1 ge ótkeriledi hám K1 kontakt qayta jalǵanadı. Solay etip, oramnıń 1, 2 sekciyaları R reaktordıń oramı arqalı jabıq jalǵanıp qaladı. Bul waqıtta reaktordıń induktivligi oramnıń 1, 2 sekciyasındaǵı kernew tásirinde payda bolıwshı teńlestiriwshı toktı shekleydi. Sonnan keyin kontaktor K2 úziledi, qozǵalıwshı kontakt 2 shaqapsha kontaktı 1 ge ótkiziledi hám K2 kontakt qayta jalǵanadı.

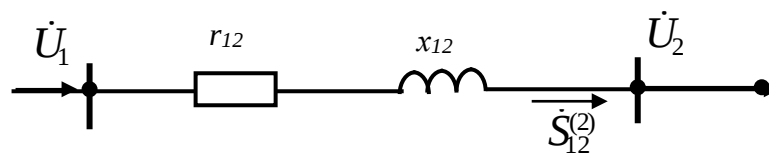
JAR járdeminde transformatordıń shaqapshasın hám transformaciyalaw koefficientin sutka dawamında júkleme astında ózgertiw arqalı qarama-qarsı retlew talabı (5.2), (5.3) n orınlaw múmkin.

Liniya retlegish transformatorları (LRT) hám izbe-iz retlewshı transformatorlar kernewi óz-aldına EUL da yaki EUL toparlarında retlew ushın qollanıladı. Solay etip, olar kernewdi júkleme astında retlenbeytuǵın transformatorlardan paydalanılǵan bar bolǵan tarmaqlardı qayta qurıwda qollanıladı. Bunday hallarda podstanciya shinasında kernewdi retlew ushın LRT retlenbeytuǵın transformator menen izbe-iz jalǵanadı. Shıǵıp ketiwshı EULlarda kernewdi retlew ushın LRTları tikkeley EULlarına izbe-iz jalǵanadı. LRT járdeminde kernewdi boyǵa, kóndeleń hám boyǵa-kóndeleń retlew múmkin.

5.4. Kernewdi tarmaqtıń qarsılıǵın ózgertirip retlew

(5.1) formulalardan kórinip turıptı, paydalanıwshıdaǵı kernew taqırmaqtaǵı kernew ısırabı mánisine baylanıslı boladı. Kernew ısırabı bolsa óz náwbetinde tarmaq qarsılıǵına baylanıslı. Mısalı, 5.5-súwrette sıwretlengen tarmaqtaǵı kernew páseyiwiniń boyǵa qurawshısın tómendegishe anıqlaw múmkin:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}^{(2)} + Q_{12}^{(2)} X_{12}}{U_2}. \quad (5.6)$$



5.5-súwret. Kernewdi tarmaqtıń qarsılıgın ózgertirip retlew.

Bul jerde $P_{12}^{(2)}$, $Q_{12}^{(2)}$, U_2 - EUL aqırındaǵı quwatlıq aǵımları hám kernew; r_{12} , x_{12} –EUL dıń aktiv hám reaktiv qarsılıqları.

Bólistiriwshi hám támiynlewshi tarmaqlar ushın aktiv hám reaktiv qarsılıqlardıń qatnasları túrlishe boladı. Bólistiriwshi tarmaq liniyalarında, tiykarınan, aktiv qarsılıq reaktiv qarsılıqqa salıstırǵanda úlken yaǵnıy $r_0 > x_0$ boladı. Sol sebepli bunday tarmaqlar ushın (5.6) formulada bólshektiń alımınıń tiykarǵı qurawshısı $P_{12}^{(2)} r_{12}$ bolıp esaplanadı.

Támiynlewshi elektr tarmaqlarda bolsa kerisinshe $x_0 > r_0$ hám sol sebepli ΔU_{12} tiykarınan EUL ótkizgishiniń kóndeleń kesimine kem dárejede baylanıslı bolǵan reaktiv qarsılıq penen belgilenedi. Reaktiv qarsılıqtı ózgertiw ushın EUL ǵa izbe-iz tárizde kondensatorlar jalǵaw lazım. EULda kondensatorlar jalǵawdan aldınıǵı kernew páseyiwiniń boyǵa qurawshısı (5.6) boyınsha anıqlanadı. Kóz aldımızǵa keltireyik, EULdıń aqırında kernew ruxsat etilgennen tómén (5.6-súwret):

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} < U_{2pux}$$

EUL ǵa kondensatorlardı sonday qılıp jalǵaymız, bunıń nátiyjesinde U_2 ruxsat etilgen U_{2rux} qa shekem kóbeysin.

Bunda joqarıdaǵı ańlatpanı tómendegishe jazıw múmkin:

$$U_{2rux} = U_1 - P_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} (x_{12} - x_k) / U_{2rux} \quad (5.7)$$

Bul jerde x_k -kondensatorlardıń ekvivalent qarsılıǵı.

Kondensatorlardı EULda izbe-iz jalǵaw boyǵa kompensaciyalaw dep júritiledi. Boyǵa kompensaciyalawshı qurılma (BKQ) EULda induktiv qarsılıq hám kernew ısırabın kompensaciyalaw imkanın beredi.

Solay etip, kompensaciyalawǵa shekem hám kompensaciyalawdan keyingi jaǵdaylarda tarmaq aqırındaǵı kernew vektorı (kompleks kernew) ushın tómendegi ańlatpalar orınlı boladı:

$$U_2 = U_1 - \sqrt{3} I_{12} (r_{12} + jx_{12}),$$

$$U_{2rux} = U_1 - \sqrt{3} I_{12} (r_{12} + jx_{12}) - \sqrt{3} I_{12} (-jx_k).$$

Bul jerde I_{12} - EUL tokı. Esaplaw kóz qarasınan $j\sqrt{3}I_{12}x_k$ nı teris kernew yaqı tarmaqqa kiritiliwshi qosımsha EQK sıpatında qaraw múmkin.

$U_1, U_{2rux}, r_{12}, x_{12}, P_{12}^{(2)}, Q_{12}^{(2)}$ ni bilgen halda (5.7) den x_k nı tabıw hámde lazım bolǵan izbe-iz hám parallel jalǵanıwshı kondensatorlardıń sanın tańlaw múmkin. Bunda kondensatorlardáǵı kernew U_k hám tok I_k tómendegilerge teń boladı:

$$U_k = \sqrt{3} I_{12} X_k, \quad I_k = I_{12} = \frac{S_{12}}{\sqrt{3} U_k}.$$

Eger bir kondensatordıń nominal kernewi $U_{k,nom} < \frac{U_k}{\sqrt{3}}$, bolsa, ol jaǵdayda bir neshe kondensatorlar izbe-iz jalǵanıwı lazım. Izbe-iz jalǵanıwshı kondensatorlar sanı tómendegi ańlatpa boyınsha tabıladı:

$$n = \frac{U_k}{\sqrt{3} U_{k,nom}}.$$

Kondensatordıń pasportında beriliwshi nominal quwatlıǵı Q_k boyınsha nominal toktı anıqlaw múmkin:

$$I_{k,nom} = \frac{Q_k}{U_{k,nom}}.$$

Eger $I_{k,nom} < I_k$ bolsa, kondensatorda asa kernew júz beriwiniń aldın alıw ushın m dana kondensator parallel jalǵanıwı lazım.

Bunda

$$m = \frac{I_k}{I_{k,nom}}.$$

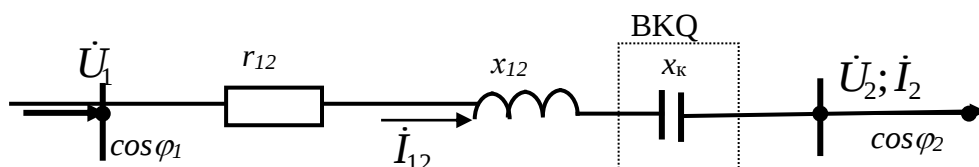
BKQ sıyımlılıq qarsılıǵın EUL induktiv qarsılıǵına salıstırǵanda procientlerdegi mánisi kompensaciyalaw procienti dep ataladı hám ol tómendegishe tabıladı:

$$C = \frac{x_k}{x_{12}} \cdot 100.$$

Ámelde EUL reaktiv qarsılıǵınıń bir bólegin kompensaciyalaw qollanıladı (yaǵnıy $S < 100\%$ boladı). Júklemelerdi tikkeley támiynleytuǵın bólistiriwshi tarmaqlarda asa kernew júzege keliwi múmkinliginiń aldın alıw maqsetinde, ádette, tolıq yaqı artıqsha kompensaciyalaw ($C \geq 100\%$) qollanılmaydı.

BKQnı qollaw tarmaqta kernew jaǵdayın jaqsılaw imkanın beredi. Biraq, kernewdiń artıwı BKQ arqalı ótiwshi toktıń mánisi hám fazasına baylanıslı. Usı sebeplerge kóre BKQ járdeminde retlew imkaniyatları sheklengen. BKQnı asa júklengen radial EULlarda kernew awısıwın kemeytiriw ushın qollanıw eń effektivli esaplanadı.

Támiynlewshi tarmaqlarda BKQlardan paydalanıw quramalı hám qımbat esaplanadı. Bunday tarmaqlarda qısqa tutasıw dáwirinde asa kernewden qorǵanıw ushın arnawlı ilájlardı qollaw lazım. BKQ tek kernewdi retlew ushın emes, bálki EULnıń ótkiziwsheńlik qásiyetin asırıw maqsetinde de qollanıladı.

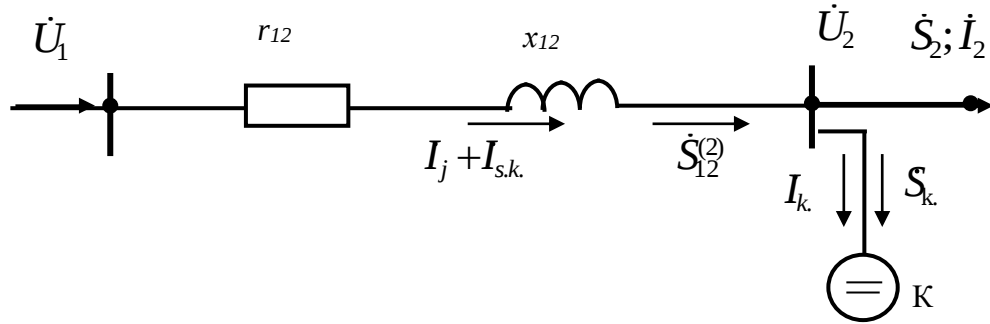


5.6-súwret. Kernewdi boyǵa kompensaciyalaw arqalı retlew.

5.5. Kernewdi reaktiv quwatlıq aǵımın ózgartirip retlew

(5.6) formuladan kórinedi, kernew ısırabı tarmaqtaǵı aktiv hám reaktiv quwatlıq aǵımlarına baylanıslı. EUL arqalı aǵıwshı aktiv quwatlıq paydalanıwshınıń quwatlıǵı menen belgilenedi. Sol sebepli kernewdi retlew ushın aktiv quwatlıq aǵımın ózgartiriw múmkin emes. Támiynlewshi tarmaqlarda reaktiv qarsılıq aktiv qarsılıqqa salıstırǵanda úlken bolǵanlıǵı ushın quwatlıq aǵımların ózgartirip retlewde kernew ısırabına $Q_2^2 x_{12}$ kúshli tásir kórsetedi. Joqarıda tarmaqtıń reaktiv qarsılıǵın ózgartiriw arqalı usı kóbeymeni ózgeritiw hám usı

tárizde kernewdi retlew usılın kórip óttik. Bul kóbeymeni ekinshi kóbeytiwshi–tarmaқтаǵı reaktiv quwatlıq aǵımın ózǵertiriw (kompensaciyalaw) arqalı da ózǵertiw múmkin. Bul usıldıń mánisi menen sxeması 5.7-súwrette keltirilgen elektr tarmaқта kernewdi retlew mısasında tanısamız.



5.7-súwret. Kernewdi reaktiv quwatlıqtı kompensaciyalaw arqalı retlew.

Reaktiv quwatlıq kompensatorı jalǵanıwdan aldın EUL aqırındaǵı kernew tómendegishe anıqlanadı:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} x_{12}}{U_2} = U_1 - \frac{P_2 r_{12} + Q_2 x_{12}}{U_2}. \quad (5.8)$$

Kóz aldımızǵa keltireyik, U_2 ruxsat etilgeninen kishi. EUL aqırına kompensator jalǵanǵannan soń bul kernew tómendegishe anıqlanadı:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_2 r_{12} + (Q_2 - Q_k) x_{12}}{U_2}. \quad (5.9)$$

Kompensatordıń kernewdi ruxsat etilgen mánisin támiynleytuǵın quwatlıǵın tabamız. Bunıń ushın (5.9) formulada liniya aqırındaǵı kernew onıń qálengen mánisine teńlesken (yaǵnıy $U_2 = U_{2qál}$) dep esaplaymız hám (5.9) daǵı U_1 ornına onıń (5.8) den alınǵan ańlatpasın qoyamız. Nátiyjede kompensator quwatlıǵı ushın tómendegi ańlatpaǵa iye bolamız:

$$Q_k = \frac{(U_{2qál} - U_2)[U_{2qál} U_2 - (P_2 r_{12} + Q_2 x_{12})]}{U_2 x_{12}}.$$

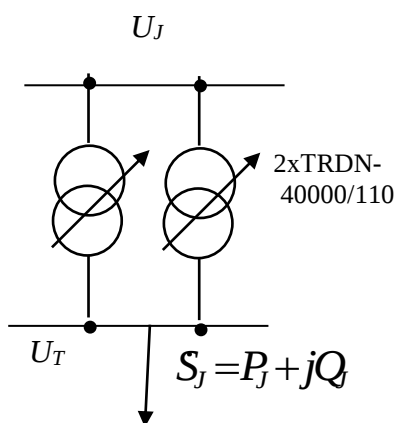
Eger $1/U_{2qál} \approx 1/U_2$ dep qabıl qılsaq, bul ańaltpa jánede ápiwayılasadı:

$$Q_k = \frac{U_{2qál} - U_2}{x_{12}} \cdot U_{2qál}. \quad (5.10)$$

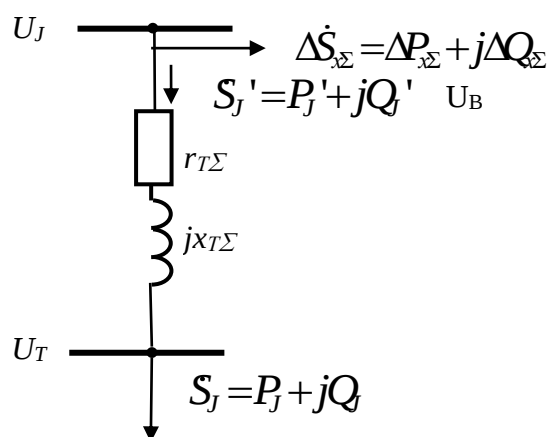
Ámeliy esaplawlarda Q_k (5.10) formula boyınsha tabıladı.

5.6. Máseleler sheshiwge úlgeri

5.1-másele. Kernewdi páseytiriwshi podstanciyada retlew diapozonı $\pm 9 \times 1,78\%$ bolğan JAR qurılmasına iye eki TRDN-40000/110 tipindegi eki oramlı transformatorlar ornatılğan (5.8-súwret). Eki parallel jalğanğan transformatorlardıń ekvivalent qarsılıqları tómendegishe: $r_{T\Sigma} = 0,7 \text{ Om}$, $x_{T\Sigma} = 17,35 \text{ Om}$.



5.8-súwret



5.9-súwret

Maksimal, minimal hám júkleme maksimal bolğanda avariyaǵan keyingi jaǵdaylarda podstanciyanıń joqarı kernew shinasındaǵı kernew mánisleri tómendegishe: $U_{maks} = 112,5 \text{ kV}$, $U_{min} = 113,7 \text{ kV}$, $U_{av/k} = 102 \text{ kV}$. Usı jaǵdaylarda júklemenıń quwatlıqları tómendegi muǵdardı quraydı (5.9-súwret):

$$P_{maks} = P_{av/k} = 64,91 \text{ MVt}; Q_{maks} = Q_{av/k} = 28,68 \text{ MVAR};$$

$$P_{min} = 22,47 \text{ MVt}; Q_{min} = 8,96 \text{ MVAR}.$$

Kernewdi qarama-qarsı retlew shártlerine sáykes ráwishte tómengi tárepte kernewdi retlew ushın zárúr bolğan retlewshi shaqapshanı tańlań.

Sheshiliwi. Transformatorlarǵa kiriw ornındaǵı quwatlıq aǵımların anıqlaymız (5.9-súwret):

$$P_{max}' = P_{av/k}' = P_{mks} + \Delta P_{T,mks} = P_{mks} + \frac{P_{mks}^2 + Q_{mks}^2}{U_{nom}^2} \cdot r_{T\Sigma} =$$

$$= 64,91 + \frac{64,91^2 + 28,68^2}{110^2} \cdot 0,7 = 65,2 \text{ MWt};$$

$$Q_{max}' = Q_{av/k}' = Q_{mks} + \Delta Q_{T,mks} = Q_{mks} + \frac{P_{mks}^2 + Q_{mks}^2}{U_{nom}^2} \cdot x_{T\Sigma} =$$

$$= 28,68 + \frac{64,91^2 + 28,68^2}{110^2} \cdot 17,35 = 35,9 \text{ MVAR};$$

$$P_{min}' = P_{min} + \Delta P_{T,min} = P_{min} + \frac{P_{min}^2 + Q_{min}^2}{U_{nom}^2} \cdot r_{T\Sigma} =$$

$$= 22,47 + \frac{22,47^2 + 8,96^2}{110^2} \cdot 0,7 = 22,5 \text{ MWt};$$

$$Q_{min}' = Q_{min} + \Delta Q_{T,min} = Q_{min} + \frac{P_{min}^2 + Q_{min}^2}{U_{nom}^2} \cdot x_{T\Sigma} =$$

$$= 8,96 + \frac{22,47^2 + 8,96^2}{110^2} \cdot 17,35 = 9,8 \text{ MVAR};$$

Maksimal júkleme jaǵdayında tómengi táreptegi kernewdiń joqarı tárepke keltirilgen mánisin anıqlaymız:

$$U_{t.mks}' = \sqrt{\left(U_{io,max} - \frac{P_T' r_{T\Sigma} + Q_T' x_{T\Sigma}}{U_{j,mks}} \right)^2 + \left(\frac{P_T' x_{T\Sigma} - Q_T' r_{T\Sigma}}{U_{j,mks}} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(112,5 - \frac{65,2 \cdot 0,7 + 35,9 \cdot 17,35}{112,5} \right)^2 + \left(\frac{65,2 \cdot 17,35 - 35,9 \cdot 0,7}{112,5} \right)^2} =$$

$$= 107,01 \text{ kV}.$$

Tómengi táreptegi kernewdiń qálengen mánisin qarama-qarsı retlew shártlerine muwapıq $U_{t.mks}^{qal} = 1,05 U_{nom} = 10,5 \text{ kV}$ qabıl qılıp, onı támiynlew ushın lazım bolǵan qálengen shaqapshanı tańlaymız:

$$U_{shax.mks}^{qal} = \frac{U_{t.mks}' U_{n.n.}}{U_{t.mks}^{qal}} = \frac{107,01 \cdot 10,5}{10,5} = 107,01 \text{ kV};$$

$$n_{shax}^{qal} = \frac{U_{shax.mks}^{qal} - U_{j.nom}}{\Delta U_{ret}^0} = \frac{107,01 - 115}{0,0178 \cdot 115} = -3,9;$$

shaxabsha nomeri $n = -4$;

$$U_{mak.shax.st} = U_{j.nom} - n \cdot 0,0178 \cdot U_{j.nom} = 115 - 4 \cdot 0,0178 \cdot 115 =$$

$$= 106,81 \text{ kV}.$$

Usı shaqapsha tańlanganda tómengi tárepindegi kernewdiń haqıyqıy mánisin qálengen mániske sáykes keliwin tekseremiz:

$$U_{t.maks}^{qal} = \frac{U_{t.maks} \cdot U_{t.n}}{U_{maks.shax.st}} = \frac{107,01 \cdot 10,5}{106,81} = 10,52 kV \approx 10,5 kV.$$

Minimal júkleme jaǵdayı ushın da esaplawdı usı tárizde ámelge asıramız:

$$\begin{aligned} U_{t.min}' &= \sqrt{\left(U_{j.min} - \frac{P_{min}' r_{T\Sigma} + Q_{min}' x_{T\Sigma}}{U_{j.min}} \right)^2 + \left(\frac{P_{min}' x_{T\Sigma} - Q_{min}' r_{T\Sigma}}{U_{j.min}} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(113,7 - \frac{22,5 \cdot 0,7 + 9,8 \cdot 17,35}{113,7} \right)^2 + \left(\frac{22,5 \cdot 17,35 - 9,8 \cdot 0,7}{113,7} \right)^2} = \\ &= 112,12 kV. \end{aligned}$$

Kernewdi qarama-qarsı retlew shártlerine muwapıq usı jaǵday ushın tómengi táreptegi kernewdiń qálengen mánisin $U_{t.min}^{qal} = 1,0 \cdot U_{t.nom} = 10,0 kV$ qabıl qılamız.

Ol jaǵdayda,

$$U_{shax.min}^{qal} = \frac{U_{t.min}' \cdot U_{t.min}}{U_{t.min}^{qal}} = \frac{112,12 \cdot 10,5}{10} = 117,73 kV;$$

$$n_{shax}^{qal} = \frac{U_{shax.min}^{qal} - U_{j.nom}}{\Delta U_{ret}^0} = \frac{117,73 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 1,33; \quad n=1.$$

$$U_{min.shax.st} = U_{j.nom} + n \cdot 0,0178 \cdot U_{j.nom} = 115 + 1 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 117,05 kV.$$

Tekseriw:

$$U_{t.min}^{qal} = \frac{U_{t.min}' \cdot U_{t.n}}{U_{min.shax.st}} = \frac{112,12 \cdot 10,5}{117,05} = 10,06 kV \approx 10 kV.$$

Avariya dan keyingi jaǵday ushın esaplawlardı ámelge asıramız:

$$\begin{aligned} U_{t.av/k}' &= \sqrt{\left(102 - \frac{65,2 \cdot 0,7 + 35,9 \cdot 17,35}{102} \right)^2 + \left(\frac{65,2 \cdot 17,35 - 35,9 \cdot 0,7}{102} \right)^2} = \\ &= 96,06 kV; \end{aligned}$$

$$U_{shax.av/k}^{qal} = \frac{96,06 \cdot 10,5}{10,5} = 96,06 kV;$$

$$n_{shax}^{qal} = \frac{96,06 - 115}{0,0178 \cdot 115} = -9,25; \quad n=-9.$$

$$U_{t.av/k.shax.st.} = U_{j.nom} - n \cdot 0,0178 \cdot U_{j.nom} = 115 - 9 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 96,58 \text{ kV.}$$

Tekseriw:

$$U_{t.av/k}^{qd} = \frac{96,06 \cdot 10,5}{96,58} = 10,44 \text{ kV} \approx 10,5 \text{ kV.}$$

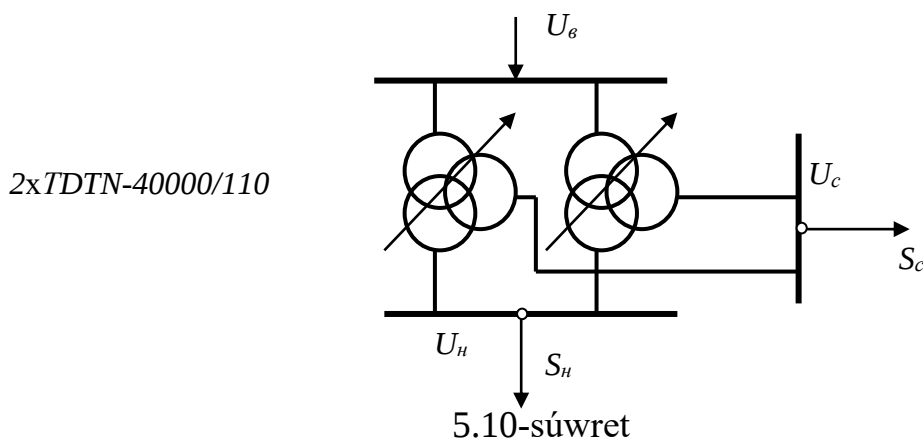
5.2-másele. Páseytiriwshi podstanciyada eki TDTN-40000/110 tipindegi úsh oramlı transformatorlar parallel jaǵdayda ornatılǵan (5.10-súwret). 35 kV kernewli tárepinde kernewdi retlew ushın transformatorlar liniyaǵa shıǵıw orınlarında retlew diapazonı $\pm 2 \times 2,5\%$ bolǵan QAJ qurılımaları menen támiynlengen. 10 kV kernewli tómengi tárepinde kernewdi retlew ushın transformatorlardıń joqarı tárepke shıǵıw orınlarında ornatılǵan retlew diapazonı $\pm 9 \times 1,78\%$ bolǵan JAR qurılımaları xizmet qıladı.

Maksimal hám minimal júkleme jaǵdaylarında podstanciyanıń orta hám tómengi táreplerindegi júklemeler tómendegishe:

$$\begin{aligned} S_{o.mks} &= 25 + j10 \text{ MVA}; & S_{t.mks} &= 15 + j8 \text{ MVA}; \\ S_{o.min} &= 14 + j7 \text{ MVA}; & S_{t.min} &= 10 + j6 \text{ MVA} \end{aligned}$$

110 kV kernewli tarmaqtıń maksimal hám minimal júkleme jaǵdayların esaplaw nátiyjesinde podstanciyanıń joqarı tárepinde tómendegi kernewler anıqlanǵan: $U_{j.maks} = 112 \text{ kV}$; $U_{j.min} = 114 \text{ kV}$.

Podstanciyanıń orta hám tómengi táreplerinde kernewdi qarama-qarsı retlew shártlerine muwapıq retlew ushın sáykes retlewshi shaqapshalardı tańlań.



Sheshiliwi. Transformatordıń katalog parametrleri boyınsha ekvivalent almasıw sxemasınıń esap parametrlerin tabamız (5.11-súwret).

$$\Delta P_{x\Sigma} = 0,1 \text{ MVt}, \quad \Delta Q_{x\Sigma} = 0,72 \text{ MVAR};$$

$$r_{\theta\Sigma}=r_{c\Sigma}=r_{N\Sigma}=0,47 \text{ Om}; \quad x_{\theta\Sigma}=17,7 \text{ Om}; \quad x_{c\Sigma}=0; \quad x_{N\Sigma}=10,3 \text{ Om}.$$

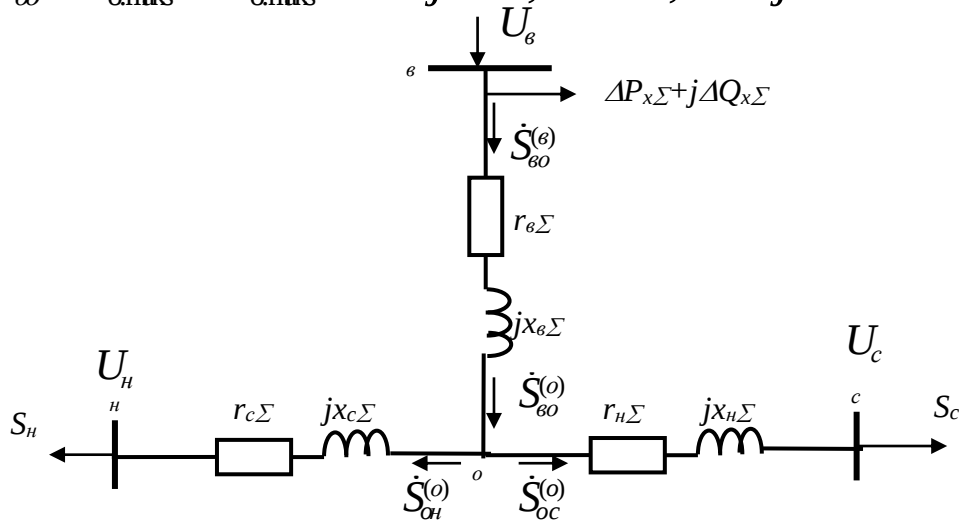
Elektr tarmaqtıń maksimal júkleme jaǵdayın eki basqıshlı usıl járdeminde esaplaw tiykarında orta hám tómengi táreptegi kernewlerdiń joqarı kernew dárejesine keltirilgen mánislerin tabamız.

1-basqısh. Orta kernew oramlarında quwatlıqlar ısırabı:

$$\Delta S_{o.mks} = \frac{P_{o.mks}^2 + Q_{o.mks}^2}{U_{nom}^2} \cdot (r_{o\Sigma} + jx_{o\Sigma}) = \frac{25^2 + 10^2}{110^2} \cdot 0,47 = 0,028 \text{ MVA}.$$

o-c shaqapshanıń baslanıwındaǵı quwatlıqlar aǵımı:

$$S_{oo}^{(o)} = S_{o.mks} + \Delta S_{o.mks} = 25 + j10 + 0,028 = 25,028 + j10 \text{ MVA}$$



5.11-súwret

Tómen kernew oramlarındaǵı quwatlıqlar ısırabı hám o-n shaqapshanıń baslanıwındaǵı quwatlıqlar aǵımın da usı tárizde tabamız:

$$\begin{aligned} \Delta S_{t.mks} &= \frac{P_{t.mks}^2 + Q_{t.mks}^2}{U_{nom}^2} \cdot (r_{t\Sigma} + jx_{t\Sigma}) = \frac{15^2 + 8^2}{110^2} \cdot (0,47 + j10,3) = \\ &= 0,011 + j0,232 \text{ MVA}; \\ S_{ot}^{(o)} &= S_{t.aı} + \Delta S_{t.mks} = 15 + j8 + 0,011 + j0,232 = \\ &= 15,011 + j8,232 \text{ MVA} \end{aligned}$$

v-o shaqapshanıń aqırındaǵı quwatlıqlar aǵımı;

$$\begin{aligned} S_{eo}^{(o)} &= S_{oc}^{(o)} + S_{oH}^{(o)} = 25,028 + j10 + 15,011 + j8,232 = \\ &= 40,039 + j18,232 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Joqarı kernew oramlarındaǵı quwatlıqlar ısırabı:

$$\Delta S_{j.maks} = \frac{P_{\Sigma}^{(o)2} + Q_{\Sigma}^{(o)2}}{U_{HOM}^2} \cdot (r_{\Sigma} + jx_{\Sigma}) =$$

$$= \frac{40,039^2 + 18,232^2}{110^2} \cdot (0,47 + j17,7) = 0,075 + j2,831 \text{ MVA}$$

v-o shaqapshasiniń baslanıwındaǵı quwatlıqlar aǵımı:

$$S_{\Sigma}^{(e)} = S_{\Sigma}^{(o)} + \Delta S_{\Sigma} = 40,039 + j18,232 + 0,075 + j2,831 =$$

$$= 40,114 + j21,063 \text{ MVA};$$

2-basqısh. Berilgen kernew $U_{j.maks}$ hám tabılǵan quwatlıqlar aǵımları boyınsha óz-aldına oramlarda kernew ısırapları hámde orta hám tómengi táreplerindegi kernewlerdiń joqarı kernew dárejesine keltirilgen mánislerin tabamız:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}^{(e)} \cdot r_{\Sigma} + Q_{\Sigma}^{(e)} \cdot x_{\Sigma}}{U_{\Sigma}} =$$

$$= \frac{40,114 \cdot 0,47 + 21,063 \cdot 17,7}{112} = 3,5 \text{ kV};$$

$$U_{o.maks} = U_{\Sigma} - \Delta U_{\Sigma} = 112 - 3,5 = 108,5 \text{ kV};$$

$$\Delta U_c = \Delta U_c = \frac{P_c^{(o)} \cdot r_c + Q_c^{(o)} \cdot x_c}{U_{o.maks}} = \frac{25,028 \cdot 0,47}{108,5} = 0,11 \text{ kV};$$

$$U_{c.maks}' = U_{o.maks} - \Delta U_c = 108,5 - 0,11 = 108,39 \text{ kV};$$

$$\Delta U_H = \Delta U_H = \frac{P_H^{(o)} \cdot r_H + Q_H^{(o)} \cdot x_H}{U_{c.maks}'} =$$

$$= \frac{15,011 \cdot 0,47 + 8,232 \cdot 10,3}{108,39} = 0,85 \text{ kV};$$

$$U_{H.maks}' = U_{c.maks}' - \Delta U_H = 108,39 - 0,85 = 107,54 \text{ kV};$$

Elektr tarmaqtıń minimal júkleme jaǵdayın da usı tárizde esaplap, orta hám tómengi táreptegi kernewlerdiń joqarı kernew dárejesine keltirilgen mánislerin tabamız:

1-basqısh.

$$\Delta S_{c.min} = \frac{P_{c.min}^2 + Q_{c.min}^2}{U_{nom}^2} \cdot (r_c + jx_c) = \frac{14^2 + 7^2}{110^2} \cdot 0,47 = 0,01 \text{ MVA}.$$

$$S_{\Sigma}^{(o)} = S_{c.min} + \Delta S_{c.min} = 14 + j7 + 0,01 = 14,01 + j7 \text{ MVA}$$

$$\begin{aligned}
\Delta S_{H,\min} &= \frac{P_{H,\min}^2 + Q_{H,\min}^2}{U_{\min}^2} \cdot (r_{H\Sigma} + jx_{H\Sigma}) = \\
&= \frac{10^2 + 6^2}{110^2} \cdot (0,47 + j10,3) = 0,005 + j0,116 \text{ MVA} \\
S_{OH}^{(o)} &= S_{H,\min} + \Delta S_{H,\min} = 10 + j6 + 0,005 + j0,116 = 10,005 + j6,116 \text{ MVA} \\
S_{\infty}^{(o)} &= S_{\infty}^{(o)} + S_{OH}^{(o)} = 14,01 + j7 + 10,005 + j6,116 = 24,015 + j13,116 \text{ MVA} \\
\Delta S_{\infty,\min} &= \frac{P_{\infty}^{(o)2} + Q_{\infty}^{(o)2}}{U_{\min}^2} \cdot (r_{\infty\Sigma} + jx_{\infty\Sigma}) = \frac{24,015^2 + 13,116^2}{110^2} \cdot (0,47 + j17,7) = \\
&= 0,029 + j1,096 \text{ MVA} \\
S_{\infty}^{(e)} &= S_{\infty}^{(o)} + \Delta S_{\infty,\min} = 24,015 + j13,116 + 0,029 + j1,096 = \\
&= 24,044 + j13,145 \text{ MVA}
\end{aligned}$$

2-basqish.

$$\begin{aligned}
\Delta U_{\infty} &= \Delta U_{\infty} = \frac{P_{\infty}^{(e)} \cdot r_{\infty\Sigma} + Q_{\infty}^{(e)} \cdot x_{\infty\Sigma}}{U_{\infty,\min}} = \\
&= \frac{24,044 \cdot 0,47 + 13,145 \cdot 17,7}{114} = 2,14 \text{ kV}; \\
U_{\infty,\min} &= U_{\infty,\min} - \Delta U_{\infty} = 114 - 2,14 = 111,86 \text{ kV}; \\
\Delta U_c &= \Delta U_c = \frac{P_{\infty}^{(o)} \cdot r_{c\Sigma} + Q_{\infty}^{(o)} \cdot x_{c\Sigma}}{U_{\infty,\min}} = \frac{14,01 \cdot 0,47}{111,86} = 0,06 \text{ kV}; \\
U_{c,\min} &= U_{\infty,\min} - \Delta U_c = 111,86 - 0,06 = 111,8 \text{ kV}; \\
\Delta U_H &= \Delta U_H = \frac{P_{OH}^{(o)} \cdot r_{H\Sigma} + Q_{OH}^{(o)} \cdot x_{H\Sigma}}{U_{\infty,\min}} = \frac{10,005 \cdot 0,47 + 6,116 \cdot 10,3}{111,86} = 0,61 \text{ kV}; \\
U_{H,\min} &= U_{\infty,\min} - \Delta U_H = 111,86 - 0,61 = 111,25 \text{ kV};
\end{aligned}$$

Maksimal júkleme jaǵdayında tómengi tárepte kernewdiń qálengen mánisi $U_{H,\min}^{qal} = 1,05 \cdot U_{nom} = 10,5 \text{ kV}$ tı támiynlew ushın JAR qurılmasındań sáykes retlewshi shaqapshasın tańlaymız:

$$\begin{aligned}
U_{shax,\max}^{qal} &= \frac{U_{H,\min}^{qal} \cdot U_{H,\min}}{U_{H,\min}^{qal}} = \frac{107,65 \cdot 10,5}{10,5} = 107,65 \text{ kV}; \\
n_{shax,\max}^{qal} &= \frac{U_{shax,\max}^{qal} - U_{H,\min}}{\Delta U_{ret}^0} = \frac{107,65 - 115}{0,0178 \cdot 115} = -3,59.
\end{aligned}$$

$n_{uox,\max} = -4$ qabıl qılamız.

$$U_{shax.maks.st} = U_{\theta H} - n_{shax.maks} \cdot 0,0178 \cdot U_{\theta H} = 115 - 4 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 106,812 \text{ kV}.$$

Tekseriw:

$$U_{H.maks}^{qal} = \frac{U_{H.maks} \cdot U_{HH}}{U_{shax.maks.st.}} = \frac{107,65 \cdot 10,5}{106,812} = 10,58 \text{ kV}.$$

Minimal júkleme jaǵdayında tómengi tárepte kernewdiń qálengen mánisi $U_{H.min}^{qal} = 1,0 \cdot U_{nom} = 10 \text{ kV}$ tı támiynlew ushın JAR qurılmasınıń sáykes retlewshi shaqapshasın da sol tárizde tańlaymız:

$$U_{H.min}^{qal} = 1,0 \cdot U_{nom} = 10 \text{ kV}.$$

$$U_{shax.min}^{qal} = \frac{U_{H.min} \cdot U_{HH}}{U_{H.min}^{qal}} = \frac{111,25 \cdot 10,5}{10} = 116,81 \text{ kV};$$

$$n_{shax.min}^{qal} = \frac{U_{shax.min}^{qal} - U_{\theta H}}{\Delta U_{ret}^0} = \frac{116,81 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 0,88.$$

$n_{shax} = 1$ qabıl qılamız.

$$U_{shax.min.st} = U_{\theta H} - n_{shax.min} \cdot 0,0178 \cdot U_{\theta H} = 115 + 0,0178 \cdot 115 = 117,047 \text{ kV}.$$

Tekseriw:

$$U_{H.min}^{qal} = \frac{U_{H.min} \cdot U_{HH}}{U_{shax.min.st.}} = \frac{111,25 \cdot 10,5}{117,047} = 9,98 \text{ kV}.$$

Maksimal hám minimal júkleme jaǵdayları ushın QAJ qurılmasınıń ortasha retlewshi shaqapshasın tańlaymız:

$$U_c^{qal} = 1,1 \cdot U_{c.nom} = 1,1 \cdot 35 = 38,5 \text{ kV};$$

$$U_{c.shax}^{qal} = \frac{(U_{shax.maks.st} + U_{shax.min.st}) \cdot U_c^{qal}}{U_{c.maks} + U_{c.min}} \min = \frac{(106,812 + 117,047) \cdot 38,5}{(108,39 + 111,8)} = 39,142 \text{ kV};$$

$$n_{shax}^{qal} = \frac{U_{c.shax}^{qal} - U_{\theta H}}{\Delta U_{ret}^0} = \frac{39,142 - 38,5}{0,025 \cdot 38,5} = 0,67.$$

$n_{shax} = 1$ qabıl qılamız.

$$U_{c.shax.st} = U_{\theta H} - n_{shax} \cdot 0,025 \cdot U_{\theta H} = 38,5 + 0,025 \cdot 38,5 = 39,462 \text{ kV}.$$

Tekseriw:

$$U_{c.maks}^{qal} = \frac{U_{c.maks}' \cdot U_{c.shax.st.}}{U_{\Phi H}} = \frac{108,39 \cdot 39,462}{106,812} = 40,04 \text{ kV}.$$

$$U_{c.min}^{qal} = \frac{U_{c.min}' \cdot U_{c.shax.st.}}{U_{shax.min.st}} = \frac{111,8 \cdot 39,462}{117,047} = 37,69 \text{ kV}.$$

5.3-másele. Páseytiriwshi podstanciyada eki ATDCTN-125000/220/110 tiptegi avtotransformatorlar jaylasqan, Orta tárepte kernewdi retlew ushın hár bir avtotransformatorдан shıǵıw jerlerinde retlew diapazonı $\pm 6 \times 2\%$ bolǵan JAR qurılması ornاتیлаǵan. Tómeni tárepinde kernewdi retlew ushın tómengi oramlarına izbe-iz tárizde retlew diapazonı $\pm 10 \times 1,5\%$ bolǵan liniya retlegish transformatorları jalǵanǵan. Elektr tarmaqtıń maksimal, minimal hám 220 kV kernewli tarmaqta júz bergen avariyaдан keyingi jaǵdayların esaplaw nátiyjesinde orta hám tómengi tárepindegi kernewlerdiń joqarı tárepke keltirilgen mánisleri tómendegilerge teń: $U_{o.maks}' = 225,4 \text{ kV}$; $U_{t.maks}' = 220,7 \text{ kV}$; $U_{o.min}' = 221,5 \text{ kV}$; $U_{t.min}' = 219,3 \text{ kV}$; $U_{o.av/k}' = 200,7 \text{ kV}$; $U_{t.av/k}' = 195,8 \text{ kV}$.

Podstanciyanıń orta hám tómengi táreplerinde kernewdi retlew ushın transformatorlardıń retlewshi shaqapshaların tańlań.

Sheshiliwi. Maksimal júkleme jaǵdayında orta táreptegi kernewdiń qálengen mánisin $U_{t.maks}^{qal} = 1,1 \cdot U_{nom} = 121 \text{ kV}$ qabıl qılıp, JARdıń sáykes retlewshi shaqapshasın anıqlaymız:

$$U_{o.shax.maks}^{qal} = \frac{U_{j.n} U_{o.maks}^{qal}}{U_{o.maks}'} = \frac{230 \cdot 121}{225,4} = 123,46 \text{ kV};$$

$$n_{shax.maks}^{qal} = \frac{U_{o.shax.maks}^{qal} - U_{o.n}}{\Delta U_{ret}^0} = \frac{123,46 - 121}{0,02 \cdot 121} = 1,02$$

$n_{uox.maks} = 1$ qabıl qılamız.

Demek, standart shaqapsha kernewi

$$U_{o.shax.st} = U_{\Phi H} + n_{shax.maks} \cdot 0,02 \cdot U_{o.n} = 121 + 0,02 \cdot 121 = 123,42 \text{ kV}.$$

Orta táreptegi kernewdiń haqıyqıy mánisin tekseremiz:

$$U_{o.maks}^{qal} = \frac{U_{o.maks}' \cdot U_{o.shax.st}}{U_{on}} = \frac{225,4 \cdot 123,42}{230} = 120,95 \text{ kV}.$$

Payda bolǵan mánis qálengen mániske ruxsat etilgen dárejede júdá jaqın.

Maksimal júkleme jaǵdayında tómengi tárepte kernewdi qarama-qarsı retlew shártinen kelip shıǵıp, $U_{t.maks}=1,05 \cdot U_{nom}=10,5 \text{ kV}$ kernew uslap turılıwı shárt. Bunday kernewdi uslap turıw ushın lazım bolǵan qosımsha EQKnıń mánisin tómendegi shártten tabamız:

$$U_{t.maks}^{qál}=10,5=\frac{U_{t.maks} \cdot U_{t.n}}{U_{jn}} + \Delta e_{maks}^{qál}.$$

Demek,

$$\Delta e_{maks}^{qál} = \frac{230 \cdot 10,5 - 220,7 \cdot 11}{220,7} = -0,06 \text{ kV}.$$

Buǵan sáykes ráwishte

$$n_{maks}^{qál} = \frac{-0,06}{0,015 \cdot 11} = -0,36$$

bolǵanlıǵı ushın $n_{maks}=0$ tańlaymız.

Tekseriw:

$$U_{t.maks}^{qál} = \frac{U_{t.maks} \cdot (U_{t.n} + 0,015 \cdot n_{maks} \cdot U_{tn})}{U_{jn}} = \frac{220,7 \cdot 11}{230} = 10,55 \text{ kV} \approx 10,5 \text{ kV}.$$

Usı sıyaqlı esaplawlardı minimal júkleme hám avariyaǵan keyingi jaǵdaylar ushın da ámelge asıramız.

Orta tárepte kernewdi retlew:

$$U_{t.min}^{qál} = 115 \text{ kV};$$

$$U_{shax.min}^{qál} = \frac{115 \cdot 230}{221,5} = 119,41 \text{ kV};$$

$$n_{shax.min}^{qál} = \frac{119,41 - 121}{0,02 \cdot 121} = -0,65; \quad n_{shax.min} = -1;$$

$$U_{o.shax.min} = 121 - 0,02 \cdot 121 = 118,58 \text{ kV};$$

$$U_{o.min}^{qál} = \frac{221,5 \cdot 118,58}{230} = 114,2 \text{ kV} \approx 115 \text{ kV}.$$

Tómengi tárepte kernewdi retlew:

$$U_t^{qál} = 1,0 U_{nom} = 10 \text{ kV},$$

$$\Delta e_{\min}^{qal} = \frac{U_{jn} U_t^{qal} - U_{t,\min} \cdot U_{tn}}{U_{\Sigma, M/H}} = \frac{230 \cdot 10 - 219,3 \cdot 11}{219,3} = -0,51 kV;$$

$$n_{\min}^{qal} = -\frac{0,51}{0,015 \cdot 11} = -3,1; \quad n_{\min} = -3.$$

$$U_{t,\min}^{qal} = \frac{219,3 \cdot (11 - 3 \cdot 0,015 \cdot 11)}{230} = 10,02 kV \approx 10 kV.$$

220 kV kernewli tarmaqta júz bergen avariya dan keyingi jaǵdayda 110 kV kernewli tarmaqtıń jaǵdayın ózgertpewge háreket qılamız, hám sol sebepli orta táreptegi qálengen kernewdi $U_{o,av/k}^{qal} = 1,1 U_{nom} = 121 kV$ qabıl qılamız. Bunda

$$U_{shax,av/k}^{qal} = \frac{121 \cdot 230}{200,7} = 138,66 kV; \quad n_{shax,av/k}^{qal} = \frac{138,66 - 121}{0,02 \cdot 121} = 7,3$$

bolǵanlıǵı ushın $n=6$ tańlaymız.

Demek,

$$U_{o,shax,st} = 121 + 6 \cdot 0,02 \cdot 121 = 135,52 kV$$

$$U_{o,av/k}^{qal} = \frac{200,7 \cdot 135,52}{230} = 118,25 kV.$$

Tómengi tárepinde $U_n^{qal} = 1,05 U_{nom} = 10,5 kV$,

$$\Delta e_{av/k}^{qal} = \frac{230 \cdot 10,5 - 195,8 \cdot 11}{195,8} = 1,33 kV;$$

$$n_{av/k}^{qal} = \frac{1,33}{0,015 \cdot 11} = 8,06; \quad n_{av/k} = 8.$$

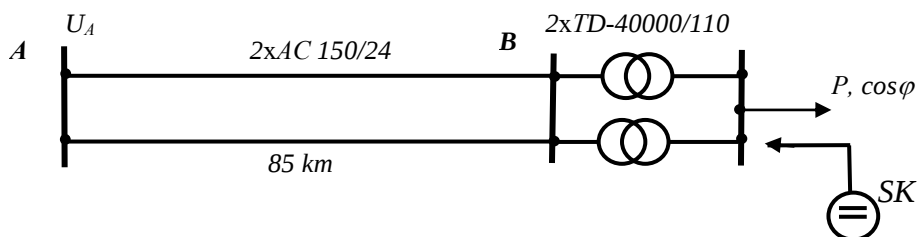
Tekseriw:

$$U_{t,av/k}^{qal} = \frac{195,8 \cdot (11 + 8 \cdot 0,015 \cdot 11)}{230} = 10,49 kV \approx 10,5 kV.$$

5.4-másele. Páseytiriwshi B podstanciya temir beton tayanshlarda jaylasqan AC 150/24 markalı ótkizgishten tayarlangan 110 kV kernewli 85 km uzınlıqtaǵı eki parallel liniyalar arqalı támiynlenedi (5.12-súwret). B podstanciyada PBV-110±2x2,5% qurılmasına bolǵan eki TD-40000/110 tiptegi eki oramlı transformatorlar jaylasqan. A podstanciyanıń támiynlewshi shinasındaǵı maksimal hám minimal júkleme jaǵdaylarındaǵı kernewler: $U_{A mask} = 117 kV$; $U_{A min} = 115 kV$. Aktiv quwatlıq koefficienti $\cos\varphi = 0,85$ bolıp, maksimal hám minimal júklemeler

$P_{maks}=45 \text{ MVt}$, $P_{min}=22 \text{ MVt}$. Jaǵday ózgergende elektr uzatpanıń sxeması ózgermeydi.

Podstanciyada kernewdi qarama-qarsı retlewdi támiynlewshi sinxron kompensatordıń minimal quwatlıǵın anıqlań.



5.12-súwret

Sheshiliwi. Elektr tarmaqtıń albastırıw sxemasın quramız (5.13-súwret) hám onıń parametrlerin tabamız.

Liniya AB – ótkizgish AC150/24, $r_0=0,198 \text{ Om/km}$, $x_0=0,42 \text{ Om/km}$, $b_0=2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$:

$$r_{AB} = \frac{0,198 \cdot 85}{2} = 8,42 \text{ Om}$$

$$x_{AB} = \frac{0,42 \cdot 85}{2} = 17,85 \text{ Om}$$

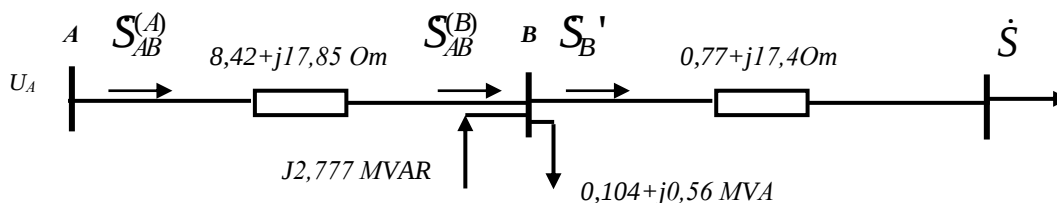
$$B_{AB} = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 85 = 4,59 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$

$$\frac{Q_{AB}}{2} = 110^2 \cdot \frac{4,59 \cdot 10^{-4}}{2} = 2,777 \text{ Mvar.}$$

B podstanciyanıń transformatorları –transformatordıń katalog maǵluwmatları boyınsha podstanciyadaǵı eki transformatordıń ekvivalent albastırıw sxeması parametrlerin esaplaymız:

$$\Delta S_x = \Delta P_x + j\Delta Q_x = 0,104 + j0,56 \text{ MVA}$$

$$r_T = 0,77 \text{ Om}, \quad x_T = 17,4 \text{ Om}$$



5.13-súwret

Elektr tarmaqtıń maksimal hám minimal júkleme jaǵdayların esaplaw tiykarında podstancıyanıń tómengi tárepindegi kernewlerdiń joqarı tárepke keltirilgen mánisleri $U_{t,maks}$, $U_{t,min}$ lerdı tabamız.

Maksimal júkleme jaǵdayı:

$$\begin{aligned} S_B' &= S_{mks} + \Delta S_T = 45 + j45 \cdot \frac{\sqrt{1-0,85^2}}{0,85} + \\ &+ \frac{45^2}{110^2 \cdot 0,85^2} \cdot (0,77 + j17,4) = 45,178 + j31,918 \text{ MVA}, \\ S_{AB}^{(B)} &= 45,178 + j31,918 + 0,104 + j0,56 - j2,777 = \\ &= 45,282 + j29,701 \text{ MVA}, \\ S_{AB}^{(A)} &= 45,282 + j29,701 + \frac{45,282^2 + 29,701^2}{110^2} \cdot (8,42 + j17,85) = \\ &= 47,322 + j34,027 \text{ MVA}, \\ U_B &= 117 - \frac{47,322 \cdot 8,42 + 34,027 \cdot 17,85}{117} = 108,4 \text{ kV}, \\ U_{t,mks}' &= 108,4 - \frac{45,178 \cdot 0,77 + 31,918 \cdot 17,4}{108,4} = 102,96 \text{ kV}. \end{aligned}$$

Minimal júkleme jaǵdayı:

$$\begin{aligned} S_B' &= S_{min} + \Delta S_T = 22 + j22 \cdot \frac{\sqrt{1-0,85^2}}{0,85} + \\ &+ \frac{22^2}{110^2 \cdot 0,85^2} \cdot (0,77 + j17,4) = 22,043 + j14,597 \text{ MVA}, \\ S_{AB}^{(B)} &= 22,043 + j14,597 + 0,104 + j0,56 - j2,777 = 22,147 + j12,38 \text{ MVA}, \\ S_{AB}^{(A)} &= 22,147 + j12,38 + \frac{22,147^2 + 12,38^2}{110^2} \cdot (8,42 + j17,85) = \\ &= 22,595 + j13,33 \text{ MVA}, \\ U_B &= 115 - \frac{22,595 \cdot 8,42 + 13,33 \cdot 17,85}{115} = 111,05 \text{ kV}, \\ U_{t,min}' &= 111,05 - \frac{22,043 \cdot 0,77 + 14,597 \cdot 17,4}{111,05} = 108,57 \text{ kV}. \end{aligned}$$

Kernewdi berilgen aralıqta retlep turıw maqsetinde transformatordıń sinxron kompensatordı islew shártleri boyınsha optimal transformacıyalaw koefficientin anıqlaw ushın tómendegi ańlatpadan paydalanamız:

$$U_{shax} = \frac{(U_{t,mks}' + U_{t,min}') \cdot U_{tn}}{(U_{t,mks,qil} + U_{t,min,shax})} = \frac{(102,96 + 108,57) \cdot 10,5}{(10,5 + 10)} = 107,32 \text{ kV},$$

$$n = \frac{10732 - 121}{0,025121} = -4,52$$

$n_{st} = -2$ hám oǵan sáykes keliwshi standart shaqapsha $U_{shax.st} = 121 - 2 \cdot 0,025 \cdot 121 = 114,95 kV$ nı tańlaymız. Bunda tómengi kernew shinasındaǵı kernewler tómendegishe boladı:

maksimal júkleme jaǵdayında

$$U_{t.maks.qıl} = \frac{102,96 \cdot 10,5}{114,95} = 9,4 kV;$$

minimal júkleme jaǵdayında

$$U_{t.min.qıl} = \frac{108,57 \cdot 10,5}{114,95} = 9,92 kV.$$

Sinxron kompensatorlar járdeminde retleniwi lazım bolǵan kernew awısıwın anıqlaymız:

maksimal júkleme jaǵdayında

$$\Delta U_{sk.maks} = 10,5 - 9,4 = 1,1 kV;$$

minimal júkleme jaǵdayında

$$\Delta U_{sk.min} = 10 - 9,92 = 0,08 kV.$$

Maksimal júkleme jaǵdayında sinxron kompensatordıń lazım bolǵan quwatlıǵın tómendegi shártten paydalanıp tabamız:

$$\frac{U_{shax.st}}{U_{tn}} \cdot \Delta U_{sk.maks} = \frac{Q_{sk.maks} \cdot (X_{AB} + X_T)}{U_{t.maks.qıl} \cdot \frac{U_{uax.cm}}{U_{sh}}}$$

$$Q_{sk.maks} = \frac{1,1 \cdot 10,5}{35,25} \left(\frac{114,95}{10,5} \right)^2 = 39,27 Mvar.$$

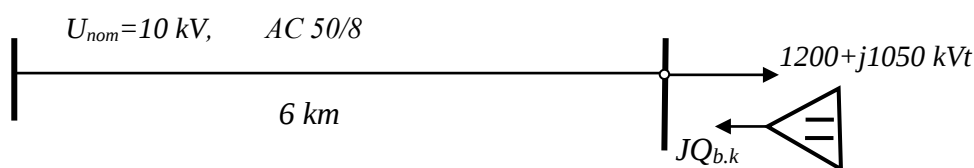
Minimal júkleme jaǵdayı ushın da sinxron kompensatordıń lazım bolǵan quwatlıǵın usı sıyaqlı esaplaymız:

$$Q_{sk.min} = \frac{0,08 \cdot 10}{35,25} \left(\frac{114,95}{10,5} \right)^2 = 2,72 Mvar.$$

Maksimal júkleme jaǵdayı boyınsha KC 50000-1 tipindegi sinxron kompensator tańlaymız.

5.5-másele. Bas páseytiriwshi podstanciyaдан 5 km aralıqta jaylasqan podstanciya AC 50/8 markalı ótkizgishten tayarlanǵan aǵash tayanshlardaǵı hawa liniyası arqalı támiynlenedi. Ótkizgishler tárepi 1750 mm bolǵan teń tárepli úshmúyeshliktiń ushlarında jaylasqan. Liniyadan uzatılıwshı quwatlıq $1200+j1050$ kVA (5.14-súwret).

Liniyada kernew ısırabın 5% ge shekem kemeytiriw ushın júklemge parallel halda jalǵanıwı lazım bolǵan kondensatorlar batareyasınıń quwatlıǵın tabıń.



5.14-súwret

Sheshiliwi. Qollanba tablicadan AC 50/8 markalı ótkizgishten tayarlanıp, faza ótkizgishleri arasındaǵı ortasha geometriyalıq aralıq $D_{or}=1750$ mm bolǵan 10 kV kernewli liniyanıń salıstırmalı qarsılıqların anıqlaymız:

$$r_0=0,603 \text{ Om/km}; x_0=0,388 \text{ Om/km}.$$

1. Liniyada kernew ısırabınıń kondensatorlar batareyasın ornatiwdan aldınıǵı mánisi:

$$\Delta U = \frac{P_l + Q_l}{U_{nom}} = \frac{1200 \cdot 0,603 \cdot 5 + 1050 \cdot 0,388 \cdot 5}{10} = 565,5 \text{ V} > \Delta U_{ux} = 500 \text{ V},$$

2. Kondensatorlar batareyasın ornatiw nátiyjesinde liniyadaǵı kernew ısırabı $\Delta U_{ux}=500$ V tı qurawı lazım.

Demek,

$$\Delta U = \frac{P_l + (Q - Q_{b,k})x_l}{U} = \Delta U_{ux},$$

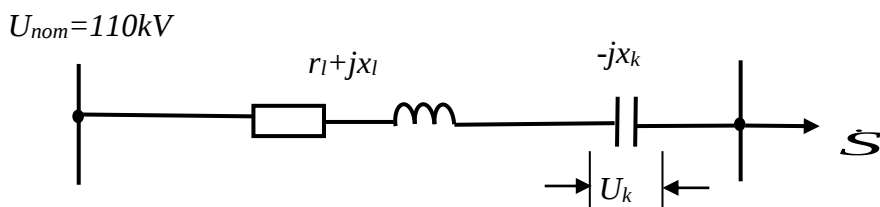
Bul qatnastan kondensatorlar batareyasınıń quwatlıǵın tabamız:

$$Q_{b,k} = \frac{U(\Delta U - \Delta U_{ux})}{x_l} = \frac{(565,5 - 500) \cdot 10}{5 \cdot 0,388} = 337,6 \text{ kVAR}$$

Nominal quwatlıǵı 400 kVAR bolǵan kondensatorlar batareyasın tańlaymız.

5.6-másele. Páseytiriwshi podstanciya támiynlew orayı menen uzınlığı 20 km bolğan 35 kV kernewli AC 95/15 markalı ótkizgishten tayarlanğan bir shınjırlı liniya arqalı baylanısqan. Podstanciyanıń esaplıq maksimal júklemesi $S_2=12+j6$ MVA. Paydalanıwshılardıń islew shártleri boyınsha bul júklemede liniyadağı kernew ısırabı 7% ten artıq bolmawı shárt. Kernew ısırabın kemeytiriw ushın liniyanıń hár bir fazasına izbe-iz tárizde 40 kVAR quwatlıqlı 0,66 kV kernewli bir fazalı standart kondensatorlardan (KS2A-0,66-40) ibarat bolğan kondensatorlar batareyasın jalğaw kózde tutılğan (5.15-súwret).

Kondensatorlar batareyasında talap etilgen kondensatorlar sanı, batareyanıń nominal kernewi hám ornatılğan quwatlıqın anıqlań.



5.15-súwret

Sheshiliwi. Kórilip atırğan hawa liniyası almastırıw sxemasınıń salıstırmalı hám esap parametrlerin anıqlaymız:

$$r_0=0,314 \text{ Om/km}; \quad r_l=r_0l=0,314 \cdot 20=6,28 \text{ Om};$$

$$x_0=0,42 \text{ Om/km}; \quad x_l=x_0l=0,42 \cdot 20=8,4 \text{ Om}.$$

Kondensatorlarsız liniyadağı kernew ısırabın tabamız

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_l + Q \cdot x_l}{U_{nm}} = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot 8,4}{35} = \frac{125,76}{35} = 3,6 \text{ kV}.$$

Máseleniń shárti boyınsha ruqsat etilgen kernew ısırabı:

$$\Delta U_{nx} = \frac{7}{100} \cdot 35 = 2,35 \text{ kV}.$$

Liniyada kernew ısırabın 2,35 kV qa shekem kemeytiriwshi kondensatorlardıń qarsılıqın tómendegi teńlemeden tabamız:

$$2,35 = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot (8,4 - x_k)}{35},$$

$$x_k = 7,22 \text{ Om}.$$

Berilgen esaplıq júklemede liniya togı:

$$I_l = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U_{nom}} = \frac{\sqrt{12^2 + 6^2}}{\sqrt{3} \cdot 35} \cdot 10^3 = 221 A$$

KS2A-0,66-40 tiptegi kondensatordın nominal togı:

$$I_{k,nom} = \frac{S_{k,nom}}{U_{k,nom}} = \frac{40000}{660} = 60,6 A$$

Bunnan hár bir fazada parallel jaǵdayda jalǵanıwshı kondensatorlı shaqapshalardıń sanı $m = 221/60,6 = 3,6$ dan úlken bolıwı lazımlıǵı kelip shıǵadı.

Demek olardıń sanın 4 qabıl qılamız.

KS2A-0,66-40 tiptegi kondensatordın qarsılıǵın anıqlaymız:

$$x_{k,nom} = \frac{U_{k,nom}}{I_{k,nom}} = \frac{660}{60,6} = 10,9 \Omega$$

Hár bir kondensatorlı shaqapshada izbe-iz jalǵanıwshı kondensatorlar sanı n di shaqapshalar sanı hám bir kondensatordın qarsılıǵı boyınsha tabamız:

$$\frac{10,9n}{4} = 7,22 \quad \text{demek} \quad n = \frac{4 \cdot 7,22}{10,9} = 2,6$$

$n = 3$ etip tańlaymız.

Solay etip, liniyanıń úsh fazasındaǵı kondensatorlardıń ulıwma sanı

$$n_{\Sigma} = 3 \cdot 4 \cdot 3 = 36;$$

kondensatorlar batareyasına ornatılǵan quwatlıq

$$Q_{b,k,nom} = 36 \cdot 40 \cdot 10^3 = 1,44 \text{ MVAR};$$

kondensatorlar batareyasınıń nominal kernewi

$$U_{b,k,nom} = 0,66 \cdot 3 = 1,98 \text{ kV};$$

kondensatorlar batareyasınıń nominal togı

$$I_{b,k,nom} = 60,6 \cdot 4 = 242,4 A.$$

Kondensatorlar batareyasınıń tolıq qarsılıǵı:

$$x_k = (10,9 \cdot 3) / 4 = 8,175 \Omega.$$

Bunda liniyadaǵı kernewi ısırabı

$$\Delta U = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot (8,4 - 8,175)}{35} = 2,19 \text{ kV},$$

bolıp, ol maksimal ruxsat etilgen mánisten kishi.

5.7. Óz betinshe sheshiw ushın máseleler

1. Kernewdi páseytiriwshi podstanciyada retlew diapazonı $\pm 8 \times 1,5\%$ bolǵan JAR qurılmasına iye eki *TRDCN-63000/220* tiptedgi eki oramlı transformatorlar parallel halda isleydi. Elektr tarmaqtıń maksimal hám minimal júkleme jaǵdayların esaplaw nátiyjesinde podstanciyanıń joqarı shinasındaǵı kernewdiń anıqlanǵan mánisleri sáykes halda $U_{maks}=222 \text{ kV}$ hám $U_{min}=223 \text{ kV}$. Usı hallar ushın podstanciyanıń júklemesi $S_{mak}=70+j30 \text{ MVA}$ hám $S_{min}=30+j10 \text{ MVA}$.

Podstanciyanıń tómengi tárepindegi kernewdi qarama-qarsı retlew shártlerine muwapıq retlew ushın sáykes retlewshi shaqapshlardı anıqlań.

2. Kernewdi páseytiriwshi podstanciyada eki *TDTN-63000/110* tiptegi úsh oramlı transformatorlar parallel halda isleydi. Podstanciyanıń orta tárepinde kernewdi retlew ushın transformatorlar usı tárepke shıǵıw orınlarında retlew diapazonı $\pm 2 \times 2,5\%$ bolǵan QAJ qurılması ornatılǵan. Tómengi tárepte kernewdi retlew ushın transformatorlardıń joqarı oramınan shıǵıw jerlerine ornatılǵan, retlew diapazonı $\pm 9 \times 1,78\%$ bolǵan JAR qurılması xizmet qıladı. Oramlardıń nominal quwatlıqlar qatnası: $100\%/100\%/100\%$.

Orta hám tómengi kernew táreplerindegi júklemeler tómendegishe:

$$\dot{S}_{o.maks}=45+j22 \text{ MVA}; \dot{S}_{t.maks}=40+j18 \text{ MVA};$$

$$\dot{S}_{o.min}=22+j10 \text{ MVA}; \dot{S}_{t.min}=19+j19 \text{ MVA}.$$

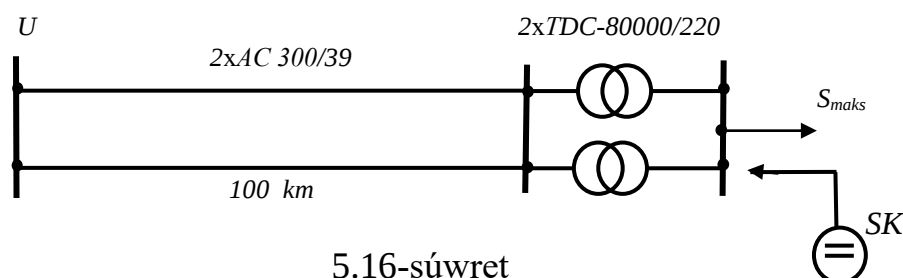
220 kV kernewli tarmaqtıń maksimal hám minimal jaǵdayların esaplaw nátiyjesinde podstanciyanıń joqarı shinasında anıqlanǵan kernewler $U_{j.maks}=224 \text{ kV}$ hám $U_{j.min}=226 \text{ kV}$.

Podstanciyanıń orta hám tómengi táreplerinde kernewdi retleń.

3. Kernewdi páseytiriwshi podstanciya *AC300/39* markalı ótkizgishten tayarlanǵan 220 kV kernewli 100 km uzınlıqtaǵı eki shınjırlı liniya arqalı támiynlenedi (5.16-súwret). Podstanciyada eki *TDC-80000/220* tiptegi eki oramlı transformatorlar parallel isleydi. Olar retlew diapazonı $\pm 2 \times 2,5\%$ bolǵan QAJ qurılmasına iye. Liniya baslanıwındaǵı támiynlewshi podstanciya shinasındaǵı kernewler maksimal hám minimal júkleme jaǵdaylarında $U_{maks}=222 \text{ kV}$ hám

$U_{min}=224 \text{ kV}$. Podstanciyadağı maksimal hám minimal júklemeler tómendegishe:
 $S_{maks}=90+j40 \text{ MVA}$ hám $S_{min}=50+j20 \text{ MVA}$.

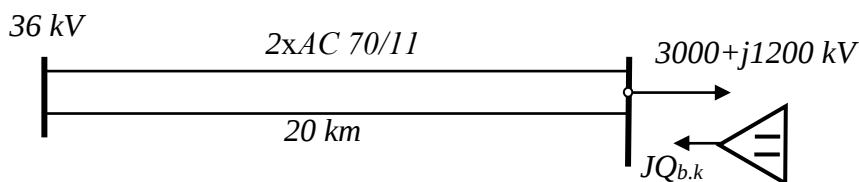
Podstanciyanıń tómen tárepinde kernewdi qarama-qarsı retlewdi támiynlewshi sinxron kompensatordıń minimal quwatlıǵın anıqlań.



5.16-súwret

4. Kernewdi páseytiriwshi tiykarǵı podstanciyadan 40 km aralıqta jaylasqan podstanciya AS70/11 markalı ótkizgishten tayarlangan 35 kV kernewli eki shınjırlı hawa liniyası arqalı támiynlenedi. Liniya arqalı paydalanıwshıǵa uzatılıwshı quwatlıq $3200+j1700 \text{ kVA}$ (5.17-súwret).

Eger támiynlew punktindegi kernew 36 kV bolsa, ol jaǵdayda paydalanıwshı punktinde 35 kV kernewdi támiynlew ushın júklemege parallel tárizde jalǵanıwı lazım bolǵan kondensator batareyasınıń quwatlıǵın anıqlań.



5.17-súwret

5. Kernewdi páseytiriwshi tiykarǵı podstanciyadan 10 km aralıqta jaylasqan podstanciya AC50/8 markalı ótkizgishten tayarlangan 6 kV kernewli hawa liniyası arqalı támiynlenedi. Liniya arqalı paydalanıwshıǵa uzatılıwshı quwatlıq $500+j200 \text{ kVA}$.

Elektr tarmaqta kernew ısırabın 5% ke shekem kemeytiriw ushın paydalanıwshıǵa parallel tárizde jalǵanıwı lazım bolǵan kondensator batareyasınıń quwatlıǵın anıqlań.

6. Kernewdi páseytiriwshi podstanciya támiynlew orayınan AC50/8 markalı ótkizgishten tayarlangan 15 km uzınlıqtaǵı liniya arqalı támiynlenedi. Liniyada kernew ısırabı 5% ten aspawın támiynlew ushın tarmaqqa izbe-iz tárizde nominal

quwatlıgı 40 kVAR bolğan 0,66 kV nominal kernewli KS2A-0,66-40 tiptegi kondensatorlardan jıynalğan kondensator batareyasın jalğaw názerde tutilğan.

Kondensatorlar batareyasındağı kondensatorlar sanı, batareyanıń tolıq quwatlıgı hám ondağı kernew ısrabın anıqlań.

7. Kernewdi páseytiriwshi podstanciya támiynlew orayı menen AC185/29 markalı ótkizgishten tayarlanğan 15 km uzınlıqtağı 35 kV kernewli hawa liniyası arqalı tutasqan. Podstanciyanıń maksimal esaplıq júklemesi 15+j7 MVA di quraydı. Júklemenıń islew shártlerinen kelip shıqqan halda usı liniyada kernewdiń ısrabı 5% ten aspawı lazım. Kernew ısrabı joqarıdağı ruxsat etilgen mánisten asqan jaǵdayda hár bir fazaǵa izbe-iz tárizde quwatlıgı 40 kVAR, nominal kernewi 0,66 kV bolğan KS2A-0,66-40 tiptegi bir fazalı transformatorlardı jalğaw názerde tutilğan.

Kondensator batareyasınıń kondensatorları sanı, batareyanıń nominal kernewi hám quwatlıgın anıqlań.

6-BAP. ELEKTR TARMAQLARINDA QUWATLIQ HÁM ENERGIYA ÍSIRAPLARIN ESAPLAW

6.1 Elektr tarmaqlarında energiya ısırapların júkleme grafigi hám maksimal ısıraplar waqıtı boyınsha esaplaw

Elektr tarmaqtıń hár qanday elementinde elektr energiya ısırabı júklemenin xarakteri hám kórilip atırǵan waqıt procesinde onıń ózgeriwine baylanıslı. Turaqlı júkleme menen islep, ΔP aktiv quwatlıq ısırabına iye bolǵan EULda t waqıt dawamında ısırap bolıwshı energiya tómendegishe anıqlanadı:

$$\Delta W = \Delta P t. \quad (6.1)$$

Júklemesi jıl dawamında ózgerip turıwshı elektr tarmaǵında jıllıq energiya ısırabın túrli usıllar járdeminde esaplaw múmkin. Bar bolǵan barlıq usıllardı olarda paydalanılıwshı matematikalıq modelge baylanıslı ráwishte eki úlken topǵa bóliw múmkin. Bular–anıq hám itimallı statistikalıq usıllar.

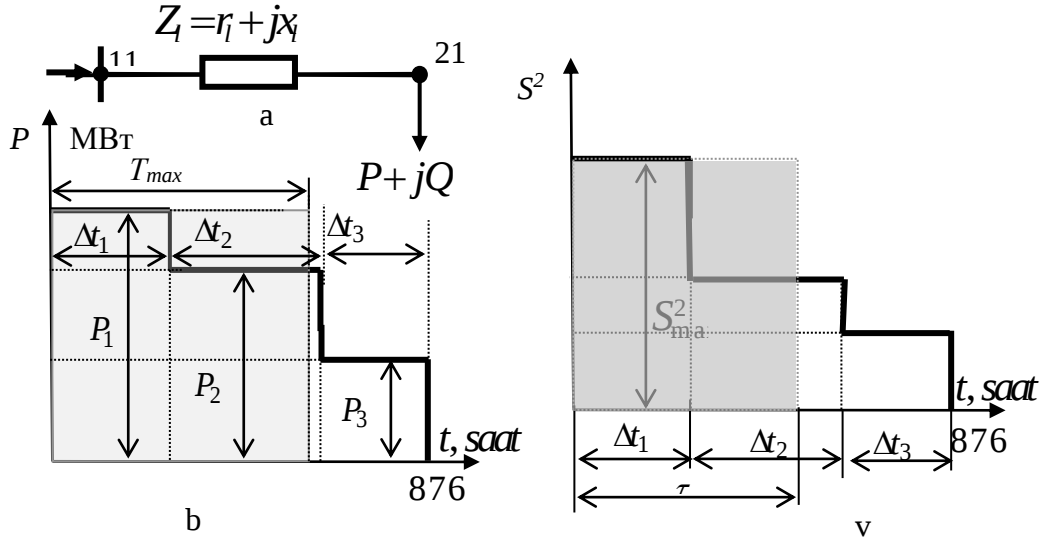
Elektr energiya ısırabın esaplawdıń eń anıq usılı bul shaqapshalardıń júkleme grafikleri boyınsha esaplawǵa tiykarlangan. Bunda esaplaw júkleme grafiginin hár bir baǵanası ushın quwatlıq ısırapların anıqlaw hám olardıń jıyındısın tabıwdı kózde tutadı. Bul usıl bazıda grafik interpolyasiyalaw usılı dep te júritiledi.

Júklemes grafikleri sutkalıq hám jıllıq bolıwı múmkin.

Sutkalıq grafikler júkleme quwatlıqlarınıń sutka dawamında, jıllıq grafikler bolsa jıl dawamında ózgeriwın ańlatadı. Jıllıq grafik báhárgi-jazǵı hám gúzgi-qısqı dáwirler ushın xarakterli sutkalıq grafikler tiykarında qurıladı. Jıllıq energiya ısırabın esaplawda dawamıylıǵı boyınsha júkleme grafiklerinen paydalanıladı. Bunday grafikti payda etiw tómendegi tártipte ámelge asırıladı. Bunday grafiktiń baslanǵısh ordinatası maksimal júklemege teń qılıp qabıl qılınadı. Sutkalıq grafikler boyınsha túrli tiptegi sutkalar sanın esapqa alıp (shembi, yekshembi, dúysembi, jumıs kúni) júklemenin hár bir mánisi ushın bir jıl dawamındaǵı saatlar sanı anıqlanadı. Eń aldǵı menen, júkleme maksimal bolǵan waqıt dawamıylıǵı, soń

júkleme quwatlıgınıń basqa mánisleri ushın (kemeyip barıw tártibinde) waqıt dawamıylıqları anıqlanadı.

$$\Delta P_1 = \frac{S_1^2}{U_1^2} r_l. \quad (6.2)$$



6.1-súwret. Elektr energiya ısırabın júkleme grafigi hám maksimal ısıraplar waqıtı boyınsha anıqlaw.

a-EULdın sxeması; b-úsh baǵanalı júkleme grafigi; v-úsh baǵanalı S^2 grafigi.

Jıllıq *júkleme grafigi* boyınsha jıllıq energiya ısırabın anıqlaw múmkin. Bunıń ushın hár bir jaǵday ushın quwatlıq hám enenrgiya ısırapları anıqlanıp, olar qosıladı. Mısal retinde sxeması 6.1, a-súwrette keltirilgen tarmaqtıń úsh baǵanalı júkleme grafigin (6.1, b-súwret) alamız. Júkleme P_1 bolǵan jaǵdayda EULdaǵı quwatlıq ısırabı tómendegishe esaplanadı:

Elektr energiya ısırabın usı jaǵday ushın quwatlıq ısırabın usı jaǵdaydın dawamıylıq waqıtına kóbeytiriw arqalı tabamız:

$$\Delta W_1 = \Delta P_1 \Delta t_1. \quad (6.3)$$

Qalǵan jaǵdaylar ushın da elektr energiya ısırabı usı tártipte tabıladı. Júkleme P_2 bolǵan jaǵday ushın

$$\Delta P_2 = \frac{S_2^2}{U_2^2} r_l, \quad (6.4)$$

$$\Delta W_2 = \Delta P_2 \Delta t_2; \quad (6.5)$$

júkleme P_3 bolǵan jaǵday ushın

$$\Delta P_3 = \frac{S_3^2}{U_3^2} r_l. \quad (6.6)$$

$$\Delta W_3 = \Delta P_3 \Delta t_3. \quad (6.7)$$

Joqarıdağılardan kelip shıǵıp, N baǵanaǵa iye bolǵan kóp baǵanalı júkleme grafiginiń i - baǵanası ushın quwatlıq hám energiya ısırapları tómendegi formulalar boyınsha anıqlanadı:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_i^2} r_l, \quad i=1, \dots, N, \quad (6.8)$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \Delta t_i. \quad (6.9)$$

Bul jerde Δt_i -júkleme júkleme grafiginiń i -baǵana dawamiylıǵı.

Δt_i waqıt dawamında eki oramlı transformatordaǵı quwatlıq hám energiya ısırapları tómendegishe esaplanadı:

$$\Delta P_i = \Delta P_q \left(\frac{S_{2i}}{S_{nom}} \right)^2 + \Delta P_s; \quad (6.10)$$

$$\Delta W_i = \left[\Delta P_q \left(\frac{S_{2i}}{S_{nom}} \right)^2 + \Delta P_s \right] \Delta t_i. \quad (6.11)$$

Bul jerde $\Delta P_q, \Delta P_s$ - sáykes ráwishte transformatordıń qısqa tutasıw jaǵdayında oramlarında (mısta) hám salt islew jaǵdayında ózekte (polatta) ısırap bolıwshı aktiv quwatlıqlar; S_{2i} —transformatordıń ekilemshı tárepinde grafigtiń i -baǵanalı júklemesi; S_{nom} —transformatordıń nominal quwatlıǵı.

k dana bir qıylı transformatorlar parallel islegende N baǵanalı júkleme grafiginiń i -baǵanasında ısırap bolıwshı quwatlıq hám jıllılıq energiya ısırapı sáykes ráwishte tómendegi formulalar boyınsha esaplanadı:

$$\Delta P_i = \frac{1}{k} \Delta P_q \left(\frac{S_{2i}}{S_{nom}} \right)^2 + k \Delta P_s; \quad (6.12)$$

$$\Delta W = \left[\Delta P_q \left(\frac{S_{2i}}{S_{nom}} \right)^2 + \Delta P_s \right] \Delta t_i. \quad (6.13)$$

Isıraplardı júkleme grafigi boyınsha anıqlaw usılınıń abzallığı–úlken anıqlığı esaplanadı. Biraq elektr tarmaqtıń barlıq shaqapshalarınń júklemeleri haqqında maǵlıwmat jeterli bolmaǵanda bul usıldı qollap bolmaydı.

Isıraplardı anıqlawdıń eń ápiwayı uıllarınan biri *maksimal ısıraplar waqıtı* nan paydalanıwǵa tiykarlanǵan. Bul usılǵa muwapıq, tarmaqtıń barlıq jaǵdayları ishinen quwatlıq ısırabı eń úlken bolǵan jaǵdayı anıqlanadı. Bul jaǵdaydı esaplap, oǵan sáykes keliwshi maksimal quwatlıq ısırabı ΔP_{max} tabıladı. Jıl dawamındaǵı energiya ısırabı maksimal quwatlıq ısırabın maksimal ısıraplar waqıtı τ ǵa kóbeytirip tabıladı:

$$\Delta W = \Delta P_{enulk} \tau. \quad (6.14)$$

Maksimal ısıraplar waqıtı sonday waqıt, eger bul waqıt dawamında turaqlı maksimal júkleme menen islegende ısırap bolıwshı energiya jıl dawamında júkleme grafigi boyınsha islegende ısırap bolıwshı energiyaǵa teń boladı, yaǵnıy,

$$\Delta W = \Delta P_1 \Delta t_1 + \Delta P_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta P_N \Delta t_N = \Delta P_{max} \tau, \quad (6.15)$$

bul jerde N - júkleme grafigi baǵanaları sanı.

Elektr energiya ısırabı hám paydalanıwshı tárepinen qabıl qılınǵan elektr energiya arasında tómendegi tártipte baylanıstı ornatiw múmkin.

Paydalanıwshı tárepinen qabıl qılınǵan energiya:

$$W = P_1 \Delta t_1 + P_2 \Delta t_2 + \dots + P_N \Delta t_N = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i = P_{max} T_{max}, \quad (6.16)$$

bul jerde $P_{ma.}$ -júklemenıń maksimal quwatlıǵı.

Maksimal júkleme waqıtı T_{max} sonday waqıt, bul waqıt dawamında maksimal júkleme menen islewshi paydalanıwshı tarmaqtan alǵan energiyası bir jıl dawamında ol júkleme grafigi boyınsha islep tarmaqtan alǵan energiyaǵa teń boladı, yaǵnıy

$$P_{max} T_{max} = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i, \quad T_{max} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i}{P_{max}}. \quad (6.17)$$

$S^2=f(t)$ grafikti quramız (6.1, v-súwret). Kóz aldımızǵa keltireyik, júkleme grafiginiń i -baǵanasında quwatlıq ısırabınıń juwıq mánisi nominal kernew boyınsha tabıladı, yaǵnıy (6.8) dıń ornına tómendegi ańlatpadan paydalanamız:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_{nom}^2} r_i .$$

Eger $r_i/U_{nom}^2=const$ ekenligin itibarǵa alsaq, Δt_i waqıt dawamında ısırap bolıwshı energiya málim masshtabta $S_i^2 \Delta t_i$ ǵa, yaǵnıy tárepleri Δt_i hám S_i^2 ge teń bolǵan tuwrı tórtmúyeshliktiń maydanına teń boladı. Demek, kórilip atırǵan jaǵdayda elektr energiya ısırabı málim masshtabta 6.1, v-súwrettegi ajıratıp kórsetilgen figuranıń maydanına teń.

τ ushın joqarıda keltirilgen anıqlamaǵa muwapıq

$$S_{max}^2 \tau = \sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i , \quad \tau = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i}{S_{max}^2} . \quad (6.18)$$

Pik kórinisindegi júkleme grafikleri ushın τ dıń mánisi tómendegi emperik formula boyınsha tabılıwı múmkin:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 . \quad (6.19)$$

(6.19) formuladan jıl ushın maksimal ısıraplar waqtın tabıwda (yaǵnıy $T=8760$ saat bolǵanda) paydalanıw múmkin. Buǵan salıstırǵanda kishi waqt dawamı ushın esaplaw anıqlıǵın asırıw maqsetinde (6.19) ornına tómendegi ańlatpadan paydalanıw maqsetke muwapıq:

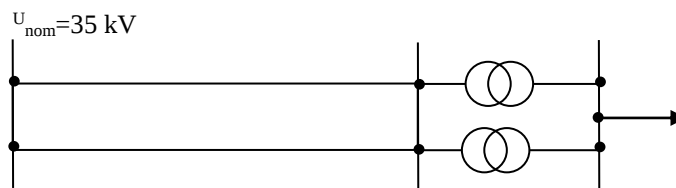
$$\tau = 2T_{max} - T + \frac{T - T_{max}}{1 + \frac{T_{max} - 2P_{min}}{T} \frac{P_{min}}{P_{max}}} \left(1 - \frac{P_{min}}{P_{max}} \right)^2 . \quad (6.20)$$

Sonday-aq τ dı anıqlawda kóplegen túrli xarakterdegi júkleme grafikleri ushın esaplaw jolı menen anıqlanǵan $\tau=f(T_{eñ.úlk}, \text{ sos}\varphi)$ tipik baylanıslardan da paydalanıw múmkin.

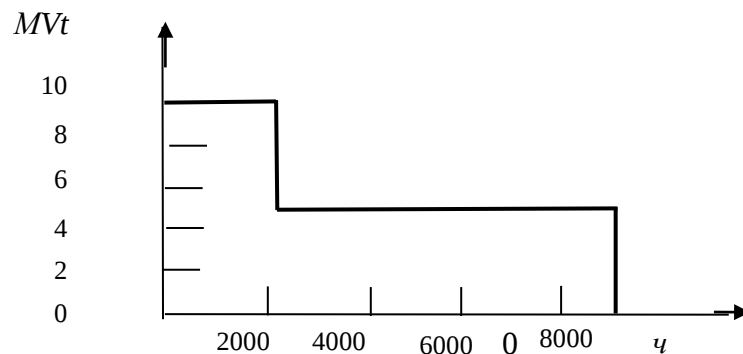
6.2. Máseleler sheshiwge úlghiler

6.1-másele. 6.2-súwrette keltirilgen 35 kV kernewli elektr uzatpada jıllıq energiya ısırabın berilgen júkleme grafigi (6.3-súwret) hám maksimal ısıraplar waqıtı τ boyınsha esaplań.

Elektr uzatıw liniyasınıń uzınlıǵı 15 km, salıstırmalı parametrleri $r_0=0,28$ Om/km, $x_0=0,43$ Om/km. Hár bir transformatordıń nominal quwatlıǵı 6300 kVA ($\Delta P_s=9,2$ kVt, $\Delta P_q=46,5$ kVt). $\cos\varphi=0,9$.



6.2-súwret



6.3-súwret

Sheshiliwi. Júkleme maksimal bolǵan jaǵdaydaǵı quwatlıqlar ısırabın esaplaymız:

$$\Delta P_T = 0,5 \cdot \Delta P_q \cdot \left(\frac{P_{mks}}{S_{nom} \cos \varphi} \right)^2 + 2 \cdot \Delta P_s = 0,5 \cdot 46,5 \cdot \left(\frac{10}{6,3 \cdot 0,9} \right)^2 + 2 \cdot 9,2 = 72,17 + 18,4 = 90,57 \text{ kVt}$$

$$\Delta P_L = \frac{S_{mks}^2}{U_{nom}^2} \cdot r_L = \frac{\left(\frac{10}{0,9} \right)^2}{35^2} \cdot \frac{0,28 \cdot 15}{2} \cdot 10^3 = 211 \text{ kVt};$$

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_T + \Delta P_L = 90,57 + 211 = 301,57 \text{ kVt};$$

$$\Delta P_\Sigma^* = \frac{\Delta P_\Sigma}{P_n} = \frac{301,57 \cdot 100}{10000} = 3\%$$

Bul jerde $\Delta P_T, \Delta P_L$ - transformatorlar hám liniyalardaǵı aktiv quwatlıq ısırapları;
 $\Delta P_\Sigma, \Delta P_\Sigma^*$ - elektr tarmaqtaǵı haqıyqıy hám procient birligindegi tolıq aktiv quwatlıq ısırabı.

1) Jıllıq energiya ısırabın júkleme grafıǵı boyınsh anıqlaymız:

$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 2000 + 0,5^2 (72,17 + 211) \cdot 6760 + 18,4 \cdot 8760 = 1200 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{saat}.$$

Jıl dawamındaǵı paydalanıwshıǵa uzatılıwshı energiya:

$$W = 10 \cdot 2000 + 5 \cdot 6760 = 53,8 \cdot 10^3 \text{ MVt} \cdot \text{saat}.$$

Jıllıq energiya ısırabınǵı uzatılıwshı energiyaǵa qatnasın anıqlaymız:

$$\Delta W^* = \frac{1200 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,23\%$$

Solay etip, usı jaǵdayda energiya ısırabı uzatılıwshı energiyaǵa salıstırǵanda 2,23% ti quraydı.

2) Jıllıq energiya ısırabın maksimal ısıraplar waqıtı τ boyınsha anıqlaymız.

Bunda τ dıń mánisin ápiwayılastırılǵan formula boyınsha tabamız:

$$T_{mks} = \frac{W}{P_{mks}} = \frac{53,8 \cdot 10^3}{10} = 5380 \text{ saat};$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{mks}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5380}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3840 \text{ saat};$$

$$\Delta W = (71,17 + 211) \cdot 3840 + 18,4 \cdot 8760 = 1248 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{saat};$$

$$\Delta W^* = \frac{1248 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,32\%$$

3) τ dín mánisin tipik iymek sızıqlar boyınsha da tabıw múmkin. Biz kórip atırǵan –maksimal júkleden paydalanıw waqıtı $T_{\max}=5380$ saat hám $\cos\varphi=0,9$ bolǵan jaǵday ushın bul iymek sızıqlar boyınsha $\tau=3650$ saat ekenligin anıqlaymız (qollanbadan). Ol jaǵdayda jıllıq energiya ısırabı tómendegi muǵdardı quraydı:

$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 3650 + 18,4 \cdot 8760 = 1195 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{saat},$$

$$\Delta W_* = \frac{119510 \cdot 100}{538010} = 2,2\%$$

6.2-másele. 5.2-máselede berilgen podstanciyanıń orta hám tómengi paydalanıwshılar ushın maksimal júkleden paydalanıw waqıtları sáykes $T_{o,\max}=5800$ saat hám $T_{t,\max}=4500$ saat tı quraydı.

Bul podstanciyada jıllıq energiya ısırabın tabıń.

Sheshiliwi. 5.2-máseleni sheshiwdiń birinshi basqışındaǵı sıyaqlı ámellerdi orınlap, maksimal júkeme jaǵdayında transformatorlardıń tómengi, orta hám joqarı oramlarındaǵı tómendegi ısıraplardı tabamız:

$$\Delta P_{t,\max} = 0,011 \text{ MVt}, \quad \Delta P_{o,\max} = 0,028 \text{ MVt}, \quad \Delta P_{j,\max} = 0,075 \text{ MVt}.$$

Kórilip atırǵan máselede paydalanıwshılar ushın maksimal júkleden paydalanıw waqıtı berilgenligi sebepli jıllıq energiya ısırabın maksimal ısıraplar waqıtınan paydalanıp esaplaymız.

Joqarı kernew oramı ushın maksimal júkleden paydalanıw waqıtınıń tómendegi formula boyınsha esaplanıwshı mánisinen paydalanamız:

$$T_{j,\max} = \frac{P_{o,\max} T_{o,\max} + P_{t,\max} T_{t,\max}}{P_{o,\max} + P_{t,\max}} = \frac{25 \cdot 5800 + 15 \cdot 4500}{25 + 15} = 5312,5 \text{ saat}$$

Joqarı, orta hám tómengi oramlar ushın maksimal ısıraplar waqıtın esaplaymız:

$$\tau_j = \left(0,124 + \frac{T_{j,\max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5312,5}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3761 \text{ saat},$$

$$\tau_o = \left(0,124 + \frac{T_{o,\max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5800}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4312 \text{ saat},$$

$$\tau_t = \left(0,124 + \frac{T_{t,\max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ saat}.$$

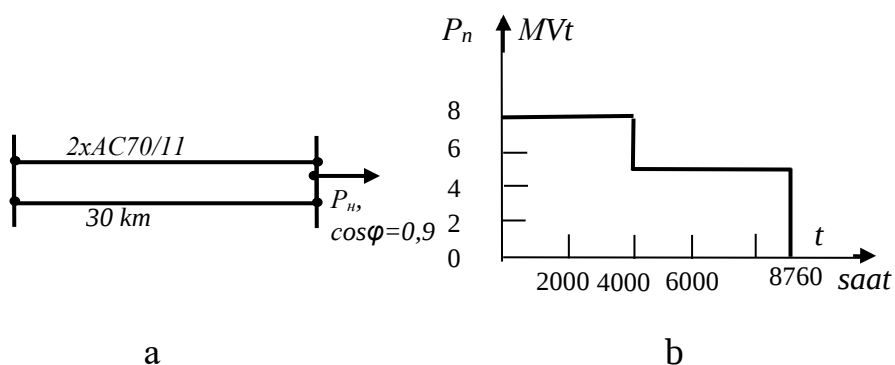
Podstanciyada jıllıq energiya ısırabı hám onıń jıl dawamında uzatılıwshı energiyaǵa qatnası:

$$\begin{aligned}\Delta W &= 8760 \Delta P_s + \Delta P_{j.maks} \tau_j + \Delta P_{o.maks} \tau_o + \Delta P_{t.maks} \tau_t = \\ &= 8760 \cdot 0,1 + 0,075 \cdot 3761 + 0,028 \cdot 4312 + 0,011 \cdot 2886 = \\ &= 1310,56 \text{ MWh} \cdot \text{saat} = 1310560 \text{ kWh} \cdot \text{saat},\end{aligned}$$

$$\Delta W_* = \frac{1310560}{(25580 + 15450) \cdot 10} = 0,62\%$$

6.3. Óz betinshe sheshiw ushın máseleler

1. AC70/11 markalı ótkizgishten tayarlanǵan 30 km uzınlıqtaǵı 35 kV nominal kernewli eki shınjırlı liniyadan támiynleniwshı paydalanıwshınıń (6.4, a-súwret) dawamıylıq boyınsha jıllıq júkleme grafıǵı 6.4, b-súwrette keltirilgen.



6.4-súwret

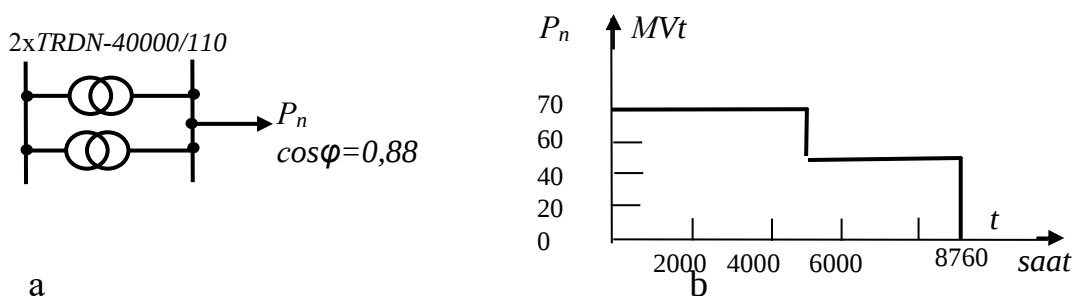
Paydalanıwshınıń maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı, liniyada jıllıq energiya ısırabı hám maksimal ısıraplar waqıtın tabıń.

Liniyanıń 1 km uzınlıǵı ushın esap parametrleri qollanba tablicadan alınsın.

2. Podstanciyada eki TRDN-40000/110 tiptegi transformatorlar parallel jaǵdayda islep (6.5, b-súwret), dawamıylıq boyınsha jıllıq júkleme grafıǵı 6.5, b-súwrette súwretlengen paydalanıwshını támiynleydi.

Transformatorlarda ısırap bolıwshı jıllıq energiya ısırabı hám maksimal ısıraplar waqıtın tabıń.

Transformatordıń katalog parametrleri qollanba tablicadan alınsın



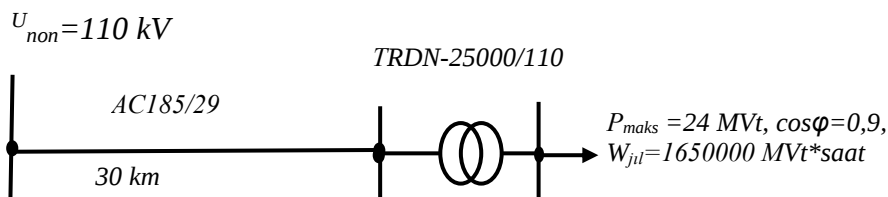
6.5-súwret

3. Sxeması 6.6-súwrette keltirilgen elektr tarmaqtan támiynleniwshi paydalanıwshınıń maksimal júklemesi 24 MVt bolıp, ol jıl dawamında 1650000 MVt*saat elektr energiyasın paydalanadı.

Elektr tarmaqta jıllıq energiya ısırabın tabıń.

Liniyanıń salıstırmalı esap parametrleri hám transformatordıń katalog parametrleri qollanba tablicadan alınsın.

Liniyanıń sıyımlılıq ótkiziwsheńligi esapqa alınbasın.

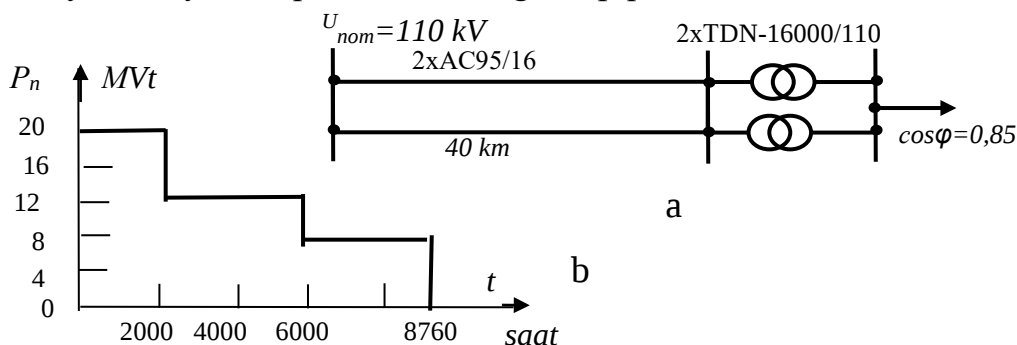


6.6-súwret

4. Sxeması 6.7, a-súwrette keltirilgen elektr tarmaqtan támiynleniwshi paydalanıwshınıń júkleme grafigi 6.7, b-súwrette súwretlengen.

Bir jıl dawamında paydalanılıwshı hám tarmaqta ısırap bolıwshı elektr energiyalar, maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı hám maksimal ısıraplar waqıtın tabıń.

Liniyanıń sıyımlılıq ótkiziwsheńligi esapqa alınbasın.



6.7-súwret

7-BAP. ELEKTR UZATÍW LINIYALARÍ

ÓTKIZGISHLERINIŃ KESE KESIM MAYDANLARÍN TAŃLAW

7.1. Ótkizgishtiń kese-kesim maydanın toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlaw

Ótkizgishtiń kese-kesim maydanı EULnıń áhmiyetli parametrlerinen biri. EUL ótkizgishi kese-kesim maydanınıń artıwı menen onı qurıwdaǵı qárejetler hám olardan alınatuǵın shegirmeler artıp baradı. Sonıń menen bir qatarda olarda elektr energiya ısırabı hám onı qaplaw ushın sarıplanıwshı jıllıq qárejetler kemeyip baradı.

EUL ushın ótkizgishtiń keltirilgen qárejetler funkciyası

$$Z(F)=p_n K+I \quad (7.1)$$

nıń minimal bolıwın támiynleytuǵın kese-kesim maydanı ekonomikalıq kese-kesim maydanı dep ataladı hám ol F_{ek} kórinisinde belgilenedi.

EUL ushın keltirilgen qárejetler ótkizgishtiń kesim maydanına baylanıslılıǵın analiz qılamız.

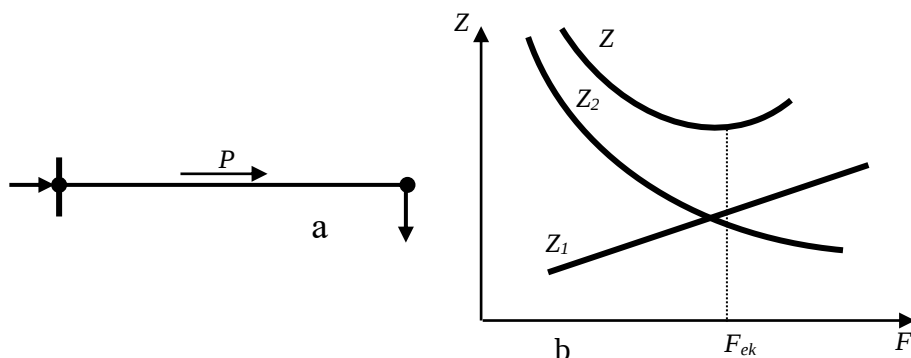
EUL dı qurıw ushın sarıplanıwshı kapital qárejetler onıń uzınlıǵına baylanıslı:

$$K=k_0 l \quad (7.2)$$

bul jerde l —EULnıń uzınlıǵı, km; k_0 —EUL ushın salıstırmalı kapital qárejet bolıp, ol ótkizgishtiń kese-kesim maydanına baylanıslı ráwishte tómendegishe anıqlanadı:

$$k_0=a+bF. \quad (7.3)$$

bul jerde a —EULdın 1 km uzınlıǵı ushın kese-kesim maydanına baylanıslı bolmaǵan kapital qárejetler (liniyalardı qurıw, trassalardı tayarlaw; batqaqlıqlardı keptiriw h.t.b jumıslar ushın sarıplanıwshı qárejetler); bF —salıstırmalı kapital qárejettiń ótkizgish kese-kesim maydanına proporsional bolǵan bólimi (metall, tayansh, armatura h.t.b menen baylanıslı bolǵan qárejetler).



7.1-súwret. Keltirilgen qárejetlerdiń EUL ótkizgishleri kese-kesim maydanına baylanıslılıǵı:

a-bir shınjırlı EUL; b-keltirilgen qárejetler hám olardı qurawshılarınıń ótkizgish kese-kesim maydanına baylanıslı ráwishte ózgeriwi

Jıllıq paydalanıwdaǵı qosımsha qárejetler I amortizaciya shegirmeler I_a , xızmet kórsetiw qárejetleri I_x hám jıl dawamında ısırap bolıwshı energiyanı qaplaw qárejetleri $I_{\Delta W}$ lardıń jıyındısınan ibarat boladı:

$$I = I_a + I_x + I_{\Delta W}.$$

Amortizaciya hám xızmet kórsetiw qárejetleri ótkizgishtiń kese-kesim maydanına baylanıslı bolıp, tómendegishe anıqlanadı:

$$I_a + I_m = \alpha_0 K = \alpha_0 (a + bF)l, \quad (7.4)$$

bul jerde α_0 —amortizaciya hám xızmet kórsetiw qárejetleri ushın jıllıq shegirme.

$I_{\Delta W}$ —ótkizgishtiń kese-kesimi maydanına baylanıslı jaǵdayda tómendegishe anıqlanadı:

$$I_{\Delta W} = \beta \Delta W = \beta \Delta P_{\max} \tau = \beta 3I_{\max}^2 r_l \tau = \frac{3\beta I_{\max}^2 \rho l \tau}{F}. \quad (7.5)$$

Bul jerde $I_{\max}$ —EUL nıń maksimal jumısshı togı; ρ —ótkizgish materiallarınıń salıstırma qarsılıǵı; β —birlik elektr energiya ısırabınıń bahası; τ —maksimal ısıraplar waqıtı.

(7.2) hám (7.5) ti (7.1) ge qoysaq, tómendegige iye bolamız:

$$Z(F) = (a + bF)(p_n + \alpha_e)l + \frac{3\beta I_{\max}^2 \rho l \tau}{F} = Z_1(F) + Z_2(F). \quad (7.6)$$

7.1-súwrette bir shınjırlı EUL sxeması (7.1, a-súwret) hám ol ushın keltirilgen qárejetler, hámde onı qurawshılardıń ótkizgish kese-kesim maydanına baylanıslı iymek sızıqları kórsetilgen (7.1, b-súwret).

$Z(F)$ funkciyanı F boyınsha minimumlıgınıń zárúriy shártinen paydalanıp, ótkizgishtiń ekonomikalıq kese-kesim maydanı ushın formulanı payda etemiz:

$$\partial Z / \partial F = (p_n + \alpha_e) \epsilon l - \frac{3\beta I_{\max}^2}{F_{ek}^2} \rho \tau = 0,$$

$$F_{uk} = I_{\max} \sqrt{\frac{3\beta \rho \tau}{(p_n + \alpha_e) \epsilon}}. \quad (7.7)$$

Toktıń ekonomikalıq tıgızlıgı—EUL da ağıwshı maksimal toktıń ótkizgish ekonomikalıq kese-kesim maydanına qatnası bolıp tabıladı:

$$J_{ek} = \frac{I_{\max}}{F_{ek}}. \quad (7.8)$$

(7.7) hám (7.8) dan

$$j_{ek} = \sqrt{\frac{(p_n + \alpha_e) \epsilon}{3\beta \rho \tau}} \quad (7.9)$$

kelip shıgadı.

Bul jerde (7.9) tek j_{ek} tıń mánisin túsiniw ushın keltirilgen bolıp, ol j_{ek} tı esaplaw ushın paydalanılmaydı.

Elektr qurılımları dúzilisi qağıydaları (EQDQ) na muwapıq j_{ek} ótkizgishtiń túri hám maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı $T_{\max}$ qa baylanıslı jaǵdayda tańlanadı.

Ámelde EUL kese-kesim maydanın tańlaw ushın eń aldın qollanba tablicadan j_{ek} tańlanadı, sońınan ekonomikalıq kese-kesim maydanı tómendegishe esaplanadı:

$$F_{ek} = \frac{I_{\max}}{j_{ek}}. \quad (7.10)$$

(7.10) nan anıqlanǵan F_{ek} standart kesim maydanına juwıqlanadı.

Analiz sonı kórsetedi, kese-kesim maydanınıń F_{ek} ten awısıwı keltirilgen qárejetlerdiń sezilerli ózgeriwine alıp kelmeydi, sebebi $Z=f(F)$ baylanıs anıq

añlatılğan minimumğa iye emes. (7.10) dağı I_{max} —normal jaǵdaydağı maksimal tok. j_{ek} tı tabıwda avariyaǵan keyingi jaǵday toǵı esapqa alınbaydı. Sebebi bunday jaǵdaylar qısqa waqıt dawamında ámel qıladı.

Toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlangan kese-kesim maydanları jıllılıq, ruqsat etilgen kernew ısırabı ΔU_{rux} hám mexanikalıq bekkemlilik boyınsha tekserip kóríledi. Eger j_{ek} boyınsha tańlangan ótkizgishtiń kese-kesim maydanı basqa shártler boyınsha talap etilgen kese-kesim maydanınan kishi bolsa, bul shártler menen belgilengen eń úlken kese-kesim maydanın tańlaw lazım.

Tómenдеgi tarmaqlarda kese-kesim maydanın toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlaw múmkin emes: 1 kV qa shekem kernewli hám maksimal júkleme waqıtı 4000-5000 saat bolǵan sanaat kárxanalarınıń elektr tarmaqları; 1000 V qa shekem kernewli óz-aldına elektr qabıl qılǵıshlarǵa shıǵıwshı shaqapshalar, sanaat kárxanaları, jasaw hám jámiyetlik binalardıń jarıtıw tarmaqları; waqtınshalıq hám sonday-aq 3-5 jıl múddetke xızmet qılatuǵın elektr qurılmalar tarmaqları. Sońǵı jıllarda 35 kV hám onnan joqarı nominal kernewli hawa EUL ótkizgishleriniń kese-kesim maydanları toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlaw usınıs etilmeydi. Ámelde 35-750 kV kernewli hawadaǵı EUL ótkizgishleriniń kese-kesim maydanları tok hám quwatlıqtıń ekonomikalıq intervalları boyınsha tańlanadı.

1 kV hám onnan joqarı kernewдеgi kabelli EULda toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlangan kese-kesim maydanları jıllılıq, ruqsat etilgen kernew, kernewdıń awısıwı hám qısqa tutasıw toklarında termikalıq shıdamlılıq boyınsha tekseriledi.

j_{ek} boyınsha kabelli EUL ótkizgishleriniń kese-kesim maydanların tańlawda tek (7.8) deǵı sıyaqlı I_{max} dan emes, bálki EULdan paydalanıw procesinde júkleme ózgeriwin esapqa alıwshı esaplıq tok júklemesinen, sonday-aq, maksimal júklemeden paydalanıwdaǵı saatlar sanınan da paydalanıw usınıs etiledi. Esaplıq tok júklemesi sonday-aq 35-750 kV kernewli hawadaǵı EUL kese-kesim maydanın ekonomikalıq intervallar boyınsha tańlawda da paydalanıladı.

7.2. Hawa EUL ótkizgishi kese-kesim maydanın ekonomikalıq intervallar boyınsha tańlaw

Kese-kesim maydanın toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlaw tek ǵana EULdı qurıwdaǵı kapital qárejetlerdi emes, bálki elektr energiya ısırabın da esapqa alıw imkanın beredi. Usı abzallıqlarǵa qaramastan kese-kesim maydanın toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlaw málim qáteliklerge alıp keledi. Birinshiden, j_{ek} ushın (7.9) ańlatpa kapital qárejettiń EUL uzınlıǵına tuwrı sızıqlı baylanısın kózde tutadı. Tuwrı sızıqlı baylanıs unifikaciyalanǵan tayanshlardan paydalanıwshı EULlardı massalıq qurıwǵa ótiw menen buzıladı. Ekinshiden, j_{ek} ushın ańlatpanı payda etiwde keltirilgen qárejetler ańlatpası (7.6) da kese-kesim maydanı úzliksiz dep esaplanǵan. Ámelde bolsa kese-kesim maydanı diskret ráwishte ózgeredi hám sol sebepli onı (7.7) shártinen tabıw málim qátelikke alıp keledi. Úshinshiden, (7.6) ańlatpada maksimal tok I_{max} turaqlı dep esapqa alıńan. Ámelde bunday emes. Hár qıylı EUL lar ushın I_{max} hár qıylı hám (7.6) da I_{max} tı ózgermeli dep esaplaw lazım. Bunday jaǵdayda ekonomikalıq kese-kesim maydanı tek ǵana Z tiń F boyınsha tuwındısın nolge teńlik shárti (7.7) nen emes, bálki Z tiń eń úlken tok boyınsha tuwındısınıń da nolge teńlik shártinen tabılıwı lazım.

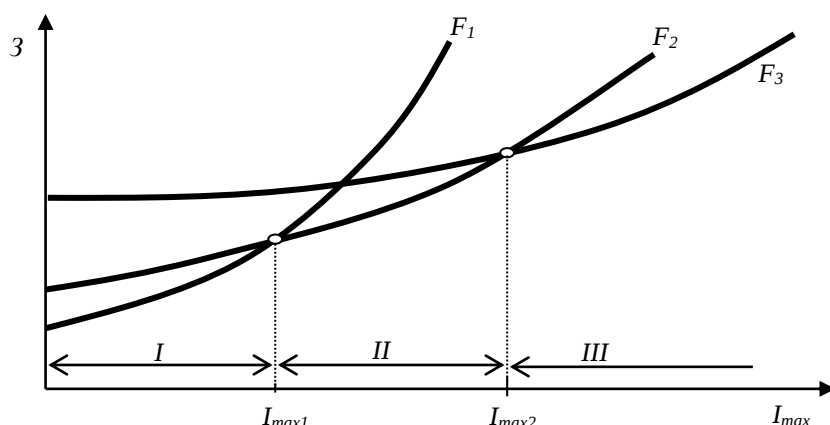
Liniya ótkizgishi maydanın tańlawdıń joqarıda kórsetilgen kemshilikleri bolmaǵan usıllardan biri «ekonomikalıq intervallar usılı» dep júritiledi.

Ótkizgish kese-kesim maydanın tańlaw ushın tok júklemeleriniń ekonomikalıq intervalları tómendegishe anıqlanadı. 35-750 kV lı hawa EUL dıń hár qıylı standart maydanlı ótkizgishleri ushın keltirilgen qárejetlerdiń EUL togı I_{max} qa baylanıslı grafikleri qurıladı. Hár bir kese-kesim maydanı ushın keltirilgen qárejetler anıqlanadı. (7.6) nı tómendegishe jazıw múmkin:

$$Z = (p_n + \alpha_e)K + 3I_{en.ulk}^2 r_l \tau \beta \quad (7.11)$$

7.2-súwrette keltirilgen qárejetlerdiń liniya maksimal togına baylanısları kese-kesim maydanı F_1 , F_2 hám F_3 ke teń bolǵan jaǵdaylar ushın kórsetilgen. Bunda $F_3 > F_2 > F_1$.

F_1 hám F_2 iymek sızıqlardıń kesilisiw noqatı maydanlar F_1 hám F_2 bolǵan variantlarda keltirilgen qárejetler teń bolatuǵın I_{max1} maksimal toktı anıqlaydı. Eger EUL togı I_{max1} den kishi bolsa, ol jaǵdayda eń kishi qárejetler F_1 kese-kesim maydanına tuwra keledi, yaǵnıy áne usı kese-kesim maydanın tańlaw ekonomikalıq jaqtan maqsetke muwapıq boladı. Eger tok I_{max1} hám I_{max2} aralıǵında bolsa, ekinshi kese-kesim maydan F_2 , I_{max2} den úlken bolsa, úshinshi kese-kesim maydan F_3 ekonomikalıq jaqtan maqsetke muwapıq boladı.



7.2-súwret. Ekonomikalıq intervallardı qurıw.

Toktıń ekonomikalıq intervallarınan paydalanılǵanda EULnıń maksimal togı túsiniǵın anıqlastırıw kerek. Ótkizgishlerdiń maydanların toktıń tómendegi formula boyınsha anıqlanıwshı esaplıq júklemesi boyınsha tańlaw lazım.

$$I_e = I_{max} \alpha_i \alpha_m, \quad (7.12)$$

Bul jerde I_{max} —paydalanıwdıń besinshi jılında EULnıń normal jaǵdaydaǵı togı. Ol támiynlewshi hám bólistiriwshi tarmaq EUL ları ushın elektr sistemasınıń maksimal júklemeli jaǵdayın esaplaw nátiyjesinde anıqlanadı; α_i —EUL jıllar dawamında paydalanıwda júkleme ózgeriwin esapqa alıwshı koefficient; α_m —onıń maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı T_{max} hám energetika sisiteması maksimumına tuwrı keliwi K_m di esapqa alıwshı koefficient.

110-220 kV kernewli EUL ushın α_i diń mánisi 1,05 ke teń qılıp, bunday joqarı kernewdegi EUL ushın bolsa bul koefficient mánisi tablicadan alınadı.

35-750 kV kernewli EULdın kese-kesim maydanları ushın toktın ekonomikalıq intervalları qollanba tablicalarda keltirilgen. Bunday tablicalar barlıq standart kese-kesim maydanları hám hár qıylı regionlar ushın dúzilgen.

7.3. Bólistiriwshi elektr tarmaqlarında EUL ótkizgishiniń kese-kesim maydanın ruqsat etilgen kernew ısırabı boyınsha tańlawdın xarakterli qásiyetleri

Bólistiriwshi elektr tarmaqlarında ruqsat etilgen kernew ısırabı dep onıń sonday mánisine aytıladı, bunda kernewdi retlew nátiyjesinde elektr qabıl qılğıshtağı kernew awısıwı DavSt da belgilengen texnikalıq ruqsat etilgen mánislerden asıp ketpeydi. Bólistiriwshi elektr tarmağında ruqsat etilgen kernew ısırabı hámme waqıt maksimal kernew ısırabınan kishi bolmawı, yaǵnıy tómendegi shárt orınlanıwı lazım:

$$\Delta U_{max} \leq \Delta U_{rux} \quad (7.13)$$

Támiynlew deregi kernewi derlik ózgermes boladı. Eger $\Delta U_{max} \leq \Delta U_{rux}$ bolsa, ol jaǵdayda shetki túyindegı kernew mánisi ruqsat etilmeytuǵın dárejede boladı. 0,38-20 kV kernewli bólistiriwshi elektr tarmaqlarda EUL ótkizgishiniń kese-kesim maydanı (7.13) tiń orınlanıw shártinen kelip shıǵıp tańlanadı. Eger joybarlastırıwda EUL ótkizgishiniń kese-kesim maydanı F ti asırsaq, aktiv hám reaktiv qarsılıqlar hámde buǵan sáykes ráwishte, maksimal kernew ısırabı kemeyedi, sebebi

$$\Delta U = \frac{P \cdot r + Q \cdot x}{U_n} \quad (7.14)$$

Ótkizgishlerdiń salıstırmalı aktiv qarsılıǵı kese-kesim maydanına keri proporsional ráwishte ózgeredi, reaktiv qarsılıq bolsa, kese-kesim maydanına hálsiz baylanısqa. Támiynlewshi elektr tarmaqlarında F tiń ózgeriwi menen x_0 kem ózgeredi hám $x_0 > r_0$. Bunday tarmaqlarda U dı retlew imkaniyatları kóp hám ΔU dı kemeytiriw ushın F ti ózgartiriw ekonomikalıq jaqtan maqsetke muwapıq emes. Sol sebepli F ti tańlawda (7.13) esapqa alınbaydı. Bólistiriwshi elektr tarmaqlarında bolsa $r_0 > x_0$. Kese-kesim maydanı artqanda r_0 hám buǵan sáykes

ráwishte kernew ısırabı tez pát penen kemeyedi. Bunday tarmaqlarda kernewdi retlew imkaniyatları kóp emes hám sol sebepli F ti tańlaw (7.13) shártin orınlaw zárúrliginen kelip shıǵıp ámelge asırıladı.

0,38-20 kV bólistiriwshi elektr tarmaqlarında kese-kesim maydanların tańlawdıń xarakterli qásiyetleri F ti tańlawda ekonomikalıq, ruxsat etilgen kernewler hám ótkizgishtiń qızıwı shártlerin esapqa alıw lazımlıǵı menen belgilenedi. 1 kV qa shekem kernewli tarmaqlarda joqarıda kórsetilgen jaǵdaylardan tısqarı hám 6-20 kV kernewli tarmaqlarda ótkizgishtiń kese-kesim maydanı ekonomikalıq (j_{ek}), ruxsat etilgen kernew ΔU_{rux} hám jıllılıq shártleri boyınsha anıqlanadı.

Sonı belgilew lazım, ótkizgishtiń kese-kesim maydanın túrli shártler boyınsha anıqlawda bir qıylı nátiyjeni beriwshi bir neshe algoritmlerden paydalanıw múmkin. Birinshi algoritm ótkizgish kese-kesim maydanın aldın bir eń tiykarǵı shárt, mısalı j_{ek} boyınsha tańlaw hám sońınan onı basqa shártler, mısalı jıllılıq h.t.b shártler boyınsha tekseriwdi názerde tutadı. Ekinshi algoritm bolsa standart kese-kesim maydanların, aldın hár bir shárt boyınsha anıqlaw hám sońınan olardan eń úlkenin tańlawdı názerde tutadı. Ádette, salıstırmalı ápiwayıraq bolǵan birinshi algoritm qollanıladı.

EUL kese-kesim maydanın ruxsat etilgen kernew ısırabı boyınsha tańlaw tarmaq tek bir ushastkaǵa iye bolǵanda jeterlishe ápiwayı esaplanadı. Bunday jaǵdayda (7.14) boyınsha anıqlanıwshı ruxsat etilgen kernew ótkizgish kese-kesim maydanın belgileydi. Tarmaq bir neshe ushastkalardan quralǵan jaǵday ushın kese-kesim maydanların tuwrıdan-tuwrı ΔU_{rux} boyınsha tańlaw múmkin emes. Bunday jaǵdaylarda tarmaq ushın F ti tańlawda (7.13) ten tısqarı tuwrıdan-tuwrı ekonomikalıq shártlerdi ańlatıwshı qosımsha shártler de qoyılıwı lazım. Bul shárt, mısalı izinde bir neshe júklemeler bolǵan EUL ushın bir qıylı kese-kesim maydanın tańlawdıń maqsetke muwapıqlılıǵı, bir qatar jaǵdaylarda pútkil EUL boyınsha metall sarıp yamasa quwatlıq ısırabınıń minimumlıǵı bolıwı múmkin. Kernewdi tańlawdıń barlıq úsh kórip shıǵılǵan usılları ruxsat etilgen kernew ısırabı menen belgilenedi. Olardan hár biri (7.13) hám bólistiriwshi tarmaqlarda kese-

kesim maydanın tańlawda usı usıldı qollanıw oblastın belgilewshi jáne bir shártti qanaatlandıradı.

Hár bir shárt orınlangan jaǵdayda kese-kesim maydanın ruxsat etilgen kernew ısırabı boyınsha tańlawdı analiz qılamız.

Kese-kesim maydanın EULnıń barlıq ushastkalarında bir qıylı bolıwı shárti boyınsha tańlaw ($F_{kj}=sonst=F$). Bul shárt qala elektr tarmaqlarında ótkizgish hám kabeldiń kese-kesimleri maydanların tańlawda qollanıladı. Ótkizgishler kese-kesimi maydanlarınnıń teńligi elektr tarmaq yaki onıń ushastkaların qurıw hám montaj qılıw ushın eń qolay shárayattı júzege keltiredi. Bunday sistema bir-birine jaqın jaylasqan kóp muǵdardaǵı júklemelerge iye bolǵan EULlar ushın óz-aldına abzallıqlarǵa iye.

EUL dúzilisi hám ótkizgishleriniń markaları anıqlangán (kese-kesim maydanınan tısqarı). k –túyin quwatlıǵı S_k , túyin aralarındaǵı aralıq l_{kj} , ruxsat etilgen kernew ısırabı ΔU_{rux} belgili.

EULda eń úlken kernew ısırabı tómendegishe tabıladı:

$$\Delta U_{eñ.úlk} = \sum_{k=1}^m \frac{P_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}}{U_n} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n} + \frac{\sum_{k=1}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n} , \quad (7.15)$$

bul jerde k –EUL ushastkasınıń baslanıwındaǵı túyin nomeri; j –EUL ushastkasınıń aqırındaǵı túyin nomeri; r_{kj} , x_{kj} –EUL ushastkasınıń qarsılıqları; P_{kj} , Q_{kj} –EUL ushastkasındaǵı aktiv hám reaktiv quwatlıqlar aǵımları.

EULda ruxsat etilgen kernewdi eki qurawshısı kórinisinde ańlatamız:

$$\Delta U_{rux} = \Delta U_{rux.a} + \Delta U_{rux.r} \quad (7.16)$$

bul jerde $\Delta U_{rux.a}$ –birinshi qurawshısı bolıp, ol derlik aktiv qarsılıqtaǵı ruxsat etilgen kernew ısırabı esaplanadı; $\Delta U_{rux.r}$ –(7.16) daǵı ekinshi qurawshı, yaǵnıy reaktiv qarsılıqtaǵı ruxsat etilgen kernew ısırabı.

Kóz aldımızǵa keltireyik, eń úlken kernew ısırabı ruxsat etilgen kernew ısırabına tel, yaǵnıy:

$$\Delta U_{rux} = \Delta U_{rux.a} + \Delta U_{rux.r} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} P_{kj} r_{kj}}{U_H} + \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} Q_{kj} x_{kj}}{U_H}; \quad (7.17)$$

bunnan

$$\Delta U_{rux.a} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} P_{kj} r_{kj}}{U_n}; \quad \Delta U_{rux.r} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} Q_{kj} x_{kj}}{U_n}; \quad (7.18)$$

Kese-kesim maydanı ózgeriwi menen salıstırmalı reaktiv qarsılıq x_0 kem dárejede ózgeredi. Sol sebepli bólistiriwshi tarmaqlar ushın, EUL ushastkalarında kese-kesim maydanı bir qıylı bolǵanda, kese-kesim maydanın tańlaw tómendegi tártipte ámelge asırıladı:

a) x_0 ushın mánis qabıl qılınadı, mısalı hawa EUL ushın $x_0=0,4$ Om/km, 6-10 kV hám 1 kV qa shekem kabelli EUL ushın bolsa sáykes ráwishte 0,09 hám 0,06 Om/km;

$$b) \Delta U_{rux.r} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} Q_{kj} x_0 l_{kj}}{U_H}; \text{esaplanadı};$$

v) $\Delta U_{rux.a} = \Delta U_{rux} - \Delta U_{rux.r}$ boyınsha ruxsat etilgen kernewdiń kóndeleń qurawshısı anıqlanadı.

g) kese-kesim maydanı F anıqlanadı.

EUL aktiv qarsılıǵındaǵı ruxsat etilgen kernew ısırabı:

$$\Delta U_{rux.a} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} P_{kj} r_0 l_{kj}}{U_n}.$$

$$\text{Bul formulada } r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{1}{\gamma F};$$

bul jerde ρ - ótkizgishtiń esaplıq salıstırmalı qarsılıǵı; γ - ótkizgishtiń esaplıq salıstırmalı ótkiziwshenligi.

Sońǵı eki ańlatpadan

$$\Delta U_{\text{rux.a}} = \frac{\sum_{k=1}^n P_{kj} l_{kj}}{\gamma F U_n} = \frac{1}{\gamma F} \sum_{k=1}^n \sqrt{3} I_{kj} l_{kj} \cos \varphi_{kj}. \quad (7.19)$$

(7.19) dan kese-kesim maydanın tómendegishe anıqlaw múmkin:

$$F = \frac{\sum_{k=1}^n \sqrt{3} I_{kj} l_{kj} \cos \varphi_{kj}}{\gamma \Delta U_{\text{rux.a}}}. \quad (7.20)$$

Tabılǵan kese-kesim maydanı F eń jaqın standart kese-kesim maydanına juwıqlanadı hám sońınan ol ushın (7.13) shártın orınlanıwı tekseriledi. Eger bul shárt orınlanbasa, ol jaǵdayda kese-kesim maydanın asırıw lazım.

Kese-kesim maydanın quwatlıq ısırabınıń minimumlıq shárti boyınsha tańlaw.

Sonı kórsetiw múmkin, quwatlıq ısırabınıń minimumlıǵı tok tıǵızlıǵınıń ózgermew jaǵdayına tuwrı keledi, yaǵnıy bunda EULdın barlıq ushastkalarında tok tıǵızlıǵı bir qıylı boladı:

$$j_{\Delta U} = \frac{I_{kj}}{F_{kj}} = \text{const}$$

bul jerde $j_{\Delta U}$ —ruxsat etilgen kernew ısırabı boyınsha tańlanıwshı tok tıǵızlıǵı. Bul qosımsha shárt sanaat kárxanalarınıń elektr támiynatı sisteması tarmaqlarında kese-kesim maydanların tańlawda paydalanıladı. Bunday tarmaqlarda EUL salıstırmalı qısqa hám júklemeler salıstırmalı úlken, yaǵnıy metall sarıpı kem, elektr energiya ısırabı bolsa kóp. Sanaat tarmaqlarında quwatlıq hám elektr energiya ısırabın kemeytiriw óz-aldına áhmiyetke iye.

Usı jaǵdayda ayırmashılıq sonnan ibarat, ushastkalarda kese-kesim maydanları F_{kj} hár qıylı, biraq tok tıǵızlıǵı $j_{\Delta U}$ bir qıylı.

Bólistiriwshı elektr tarmaqları EULnıń barlıq ushastkalarında tok tıǵızlıǵı bir qıylı bolǵanda esap tómendegi tártipte alıp barıladı:

a) $x_0 = 0,4 \text{ Om/km}$ qabıl qılınadı.

b) (7.18) hám (7.16) ısıraplar boyınsha $\Delta U_{\text{rux.r}}$ hám $\Delta U_{\text{rux.a}}$ esaplanadı.

v) ruxsat etilgen kernew boyınsha toktıń tıǵızlıǵı $j_{\Delta U}$ tabıladı hám sońınan EULdın barlıq ushastkaları ushın kese-kesim maydanı anıqlanadı. (7.19)

añlatpadan toktıń tıǵızlıǵı ruksat etilgen kernew boyınsha tómendegishe anıqlanadı:

$$j_{\Delta U} = \frac{\Delta U_{pyx} \gamma}{\sqrt{3} \sum_{k=1}^n \sum_{j=2}^n I_{kj} \cos_{kj}}$$

Tabılǵan tok tıǵızlıǵı boyınsha esaplıq kese-kesim maydanı tómendegishi ańsat anıqlanadı:

$$F_{kj} = \frac{I_{kj}}{j_{\Delta U}}.$$

Esaplanǵan kese-kesim maydanı eń jaqın standartqa dóńgeleklenedi. EUL ushastkalarınń aktiv hám reaktiv qarsılıqları r_{kj} , x_{kj} , lar anıqlanadı. (7.14) boyınsha eń úlken kernew ısırabı esaplanadı hám ol (7.13) shárt boyınsha tekserip kóریledi. Eger bul shárt orınlanbasa, kese-kesim maydanı asırıladı.

Kese-kesim maydanın EULdı qurıw ushın ótkizgish materialı sarıpınıń minimumlıq shárti boyınsha tańlaw. Bul qosımsha shárt metall ekonomikası elektr energiyası ekonomikasına salıstırǵanda áhmiyetlirek bolǵan kem júklenbegen jaǵdaylarda, ásirese, awıl xojalıq elektr tarmaqların joybarlawda paydalanıladı. n -júklemge iye bolǵan jaǵdayda aqırǵı $(n-1)$ -ushastka EULdıń kese-kesim maydanı tómendegi formula boyınsha esaplanadı:

$$F_{(n-1)n} = \frac{\rho \sqrt{P_{(n-1)n}}}{\Delta U_{uxa} U_n} \sum_{k=1}^n l_{kj} \sqrt{P_{kj}},$$

bul jerde $F_{(n-1)n}$, $P_{(n-1)n}$ -aqırǵı $(n-1)n$ -ushastkasınıń kese-kesim maydanı hám ondaǵı quwatlıq aǵımı; P_{kj} , l_{kj} - kj ushastkadaǵı quwatlıq aǵımı hám ushastkanıń uzınlıǵı; ρ -ótkizgishtiń esaplıq salıstırmalı qarsılıǵı.

Qalǵan ushastkalardıń kese-kesim mydanları tómendegi qatnaslar tiykarında tabılıwı múmkin:

$$\frac{F_{12}^2}{P_{12}} = \frac{F_{23}^2}{P_{23}} = \dots = \frac{F_{(n-2)(n-1)}^2}{P_{(n-2)(n-1)}} = \frac{F_{(n-1)n}^2}{P_{(n-1)n}}.$$

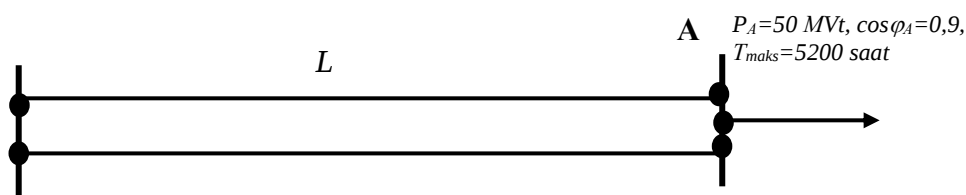
Tańlaw procesiniń nábettegi jumısı, joqarıda kórilgen jaǵdaylardaǵıday, tabılǵan kese-kesim maydanların eń jaqın standartlarına juwıqlaw, olardı (7.13)

shárt boyınsha tekseriw hám bul shárt orınlanbasa tańlangan kese-kesim maydanın asırıwdı názerde tutadı.

7.4. Máseleler sheshiwge úlgiler

7.1-másele. 7.3-súwrette joybarlastırılıp atırǵan 110 kV kernewli elektr tarmaqtıń A júkleme podstanciyasınıń támiynlew sxeması kórsetilgen. Maksimal júkleme, maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı hám aktiv quwatlıq koefficientleri súwrette keltirilgen.

L liniyanıń ótkizgishleri kese-kesim maydanın toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlań hám onı tajlanıwǵa ısırap hám ortalıq temperaturası $+15^0\text{ C}$ bolǵanda qızıw shártleri boyınsha tekseriń.



7.3-súwret

Sheshiliwi. Liniyanıń maksimal togın tabamız:

$$I_{l,mks} = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{3} U_{nom} \cdot \cos \varphi_A} = \frac{50}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,9} = 0,146 \text{ kA}$$

Oraylıq Aziya shárayatında $T_{max} = 5200 \text{ saat}$ bolǵan jaǵday ushın toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵın qollanba tablica boyınsha anıqlaymız: $j_{ek} = 1,3 \text{ A/mm}^2$.

Ótkizgishtiń esplıq kese-kesim maydanın tabamız:

$$F = \frac{I_{nb}}{j_{ek}} = \frac{146}{1,3} = 111,92 \text{ mm}^2.$$

Standart kese-kesim maydanı $F_{st} = 120 \text{ mm}^2$ bolǵan, yaǵnıy AC120 markalı ótkizgish tańlaymız.

110 kV kernewli hawa liniyası ushın tajlanıwda bólıwshı ısıraplar shártleri boyınsha eń kishi kese-kesim maydanı 70 mm^2 bolǵanlıǵı ushın tańlangan kese-kesim maydanı tajlanıw shártleri talaplarına juwap beredi.

Uzaq waqıt dawamında ruxsat etilgen toklardı hawanıń temperaturası boyınsha tuwrılardı esapqa alıp tómendegi formuladan anıqlaymız:

$$I_{rux} = I_{tab} k_i$$

bul jerde I_{tab} —tańlangan kese-kesim maydanındaǵı ótkizgish ushın hawanıń normadaǵı temperaturasında uzaq waqıt dawamında ruxsat etilgen tok bolıp, onıń mánisi qollanba tablicadan alınadı; k_i —tuwrılawshı koefficient bolıp, kórilip atırǵan jaǵday ushın ol 1,1 ge teń.

Solay etip,

$$I_{rux} = I_{tab} k_i = 390 * 1,1 = 432,9 \text{ A.}$$

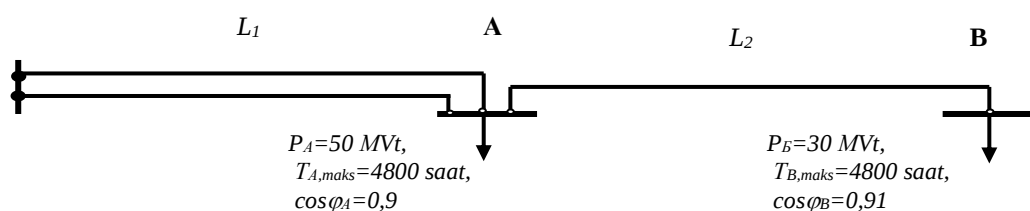
Eń úlken tok júkleme liniyanıń bir shınjırı úzilgen jaǵdayda bayqaladı:

$$I_{av/k} = 146 * 2 = 292 \text{ A} < I_{rux}.$$

Demek, tańlangan ótkizgish avariyaǵan keyingi jaǵdaylarda qızıw shártlerin qanatlandıradı.

7.2-másele. 7.4-súwrette joybarlastırılıp atırǵan 110 kV kernewli elektr tarmaqtıń A hám B júkleme podstanciyalarınń támiynleniw sxeması kórsetilgen. Bul podstanciyalar ushın maksimal júkleme, maksimal júklemeden paydalanıw waqtı hám aktiv quwatlıq koefficientleri súwrette kertirilgen.

L_1 hám L_2 liniyalar ótkizgishleriniń kese-kesim maydanların ekonomikalıq intervallar boyınsha tańlań hám L_1 liniyasınıń ótkizgishin ortalıq temperaturası $+15^\circ\text{C}$ bolǵan jaǵdayda qızıw shártleri boyınsha tekseriń.



7.4 -súwret

Sheshiliwi. L_1 hám L_2 liniyalardıń hár birinde aǵıwshı maksimal tok:

$$I_{l2mks} = \frac{30 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 79 \text{ A}$$

$$I_{l1mks} = \frac{80 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 210 \text{ A}$$

L_1 hám L_2 liniyalardıń hár bir shıńjırınıń esaplıq tok júklemesin tómendegi formuladan anıqlaymız:

$$I_x = I_{maks} \alpha_i \alpha_T,$$

bul jerde α_i —isletiwdiń hár jılında júklemeninń ózgerip barıwın esapqa alıwshı koefficient; 110-220 kV kernewli liniyalar ushın ol 1,05 ke teń dep qabıl qılınadı; α_T —maksimal júklemeden paydalanıw saatları sanı T_{max} hám onıń energetika sisteması maksimal júklemesi menen sáykes keliw koefficienti k_m .

Biz kórip atırǵan jaǵday ushın qollanba tablicaları boyınsha $\alpha_T=0,8$ ekenligin anıqlaymız.

Ol jaǵdayda

$$I_{l2,x} = 79 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 66,36 \text{ A};$$

$$I_{l1,x} = 210 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 176,4 \text{ A}.$$

Polatalyuminiy ótkizgishler ushın tok júklemelerininń ekonomikalıq intervallar tablicaları boyınsha tómendegilerdi tańlaymız:

$$L_2 \text{ liniyası ushın } F_{l2} = 70 \text{ mm}^2, \quad L_1 \text{ liniyası ushın } F_{l1} = 150 \text{ mm}^2.$$

Tańlangan ótkizgishlerdi avariya dan keyingi jaǵdaylar ushın qızıw shártleri boyınsha tekseremiz.

Uzaq waqıt dawamında ruxsat etilgen toklar temperatura boyınsha tuwrılawshı koefficient k_t nı esapqa alıp tómendegishe anıqlanadı:

$$I_{rux} = I_{tab} \cdot k_t.$$

Biz kórip atırǵan jaǵdayda $k_t = 1,11$.

Ol jaǵdayda

$$I_{rux,l2} = 265 \cdot 1,11 = 294 \text{ A};$$

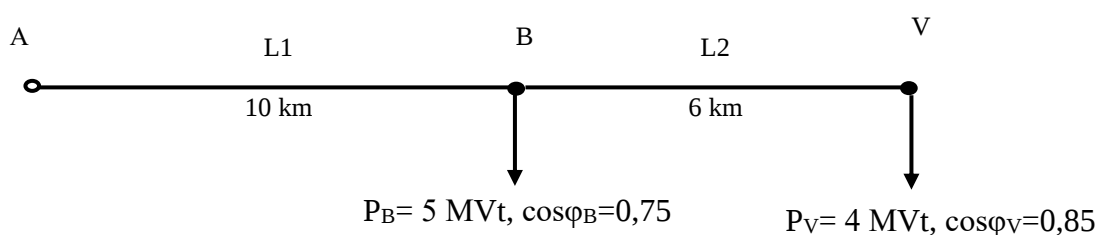
$$I_{rux,l1} = 450 \cdot 1,11 = 500 \text{ A}.$$

L_1 liniyasında eń úlken tok júklemesi liniyanıń bir shıńjırı úzilgen jaǵdayda bayqaladı:

$$I_{av/k,l1} = 210 \cdot 2 = 420 \text{ A} < I_{rux,l1}.$$

Demek, tańlangan ótkizgishler avariya dan keyingi jaǵdaylarda qızıw shártleri boyınsha talaplarǵa juwap beredi.

7.3-másele. B hám V punktlerde jaylasqan paydalanıwshılar A podstanciyanıń shinasınan polatallyuminiy ótkizgishten tayarlangan bir 35 kV kernewli liniya arqalı támiynlenedi. $\cos\varphi=0,75$ bolǵan jaǵdayda 5 MVt quwatlıq paydalanıwshı B punkt A podstanciyaadan 10 km aralıqta jaylasqan. Óz nábetinde $\cos\varphi=0,85$ bolǵan jaǵdayda 4 MVt quwatlıq paydalanıwshı V podstanciyası B punktтан 6 km aralıqta jaylasqan (7.5-súwret). Hár eki paydalanıwshı ushın da maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı jılına 3000 saat tı quraydı.



7.5-súwret

Polatallyuminiy ótkizgishlerdiń kese-kesim maydanların 5% ke teń bolǵan (pútkil tarmaq ushın toktıń tıǵızlıǵı turaqlı bolıwınan kelip shıqqan halda anıqlanǵan) ruxsat etilgen kernew ısırabı boyınsha tańlań.

Sheshiliwi. L_1 liniyası boyınsha paysalanıwshılardıń júklemeleri hám quwatlıq aǵımın anıqlaymız:

$$S_B = 5 + j5 \cdot \frac{\sqrt{1-0,75^2}}{0,75} = 5 + j4,41 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

$$S_V = 4 + j4 \cdot \frac{\sqrt{1-0,85^2}}{0,85} = 4 + j2,48 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

$$S_{l1} = 5 + 4 + j(4,41 + 2,48) = 9 + j6,89 \text{ MV} \cdot \text{A}.$$

Elektr tarmaqta ruxsat etilgen kernew ısırabın anıqlaymız:

$$\Delta U_{rux} = 0,05 \cdot 35 = 1,75 \text{ kV}.$$

Birinshi jaqınlasıwda uzınlıq birligindegi induktiv qarsılıqtı $x_0=0,41 \text{ Om/km}$ qabıl qılıp, tarmaqta induktiv qarsılıq penen belgileniwshi kernew ısırabın esaplaymız:

$$\Delta U_r = \frac{6,89 \cdot 0,41 \cdot 10 + 2,48 \cdot 0,41 \cdot 6}{35} = 0,981 \text{ kV},$$

Demek, aktiv qarsılıqlarda ruxsat etiliwi múmkin bolǵan kernew ısırabı tómendegige teń:

$$\Delta U_{a.rux} = \Delta U_{rux} - \Delta U_r = 1,75 - 0,981 = 0,769 \text{ kV}.$$

Alyuminiydiń salıstırmalı qarsılıǵın $\rho = 31,5 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ dep esaplap, toktıń kernew ısırabı tabılǵan $\Delta U_{a.rux}$ teń bolıwın támiynleytuǵın tıǵızlıǵın anıqlaymız. Bunıń ushın aldın stanciya hám 1 punkt arasındaqı liniyanıń quwatlıq koefficientin anıqlaymız:

$$\cos \varphi_1 = \frac{9}{\sqrt{9^2 + 6,89^2}} = 0,794,$$

demek,

$$j = \frac{\Delta U_{a.rux}}{\sqrt{3 \cdot \rho \cdot (I_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + I_{BV} \cdot \cos \varphi_2)}} = \frac{769}{\sqrt{3 \cdot 31,5 \cdot (10 \cdot 0,794 + 6 \cdot 0,85)}} = 1,08 \text{ A/mm}^2.$$

Hár eki júkleme ushın $T_{max} = 3000 \text{ saat}$ bolǵanda liniyalar ushın toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı $j_{ek} = 1,3 \text{ A/mm}^2$. $j_{ek} > j$ bolǵanlıǵı ushın ótkizgishlerdiń kesim maydanların tańlawda belgilewshi bolıp ruxsat etilgen kernew ısırabın támiynlew talaplarına juwap beriwshi shártler esaplanadı.

Demek, L_1 liniya ushın:

$$F_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot j} = \frac{\sqrt{9000^2 + 6890^2}}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1,08} = 173,1 \text{ mm}^2,$$

L_2 liniya ushın:

$$F_2 = \frac{\sqrt{4000^2 + 2480^2}}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1,08} = \frac{3740}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1,14} = 71,9 \text{ mm}^2.$$

Standart markadaǵı ótkizgishlerdi qabıl qılamız: L_1 liniya ushın AC185; L_2 liniya ushın AC95.

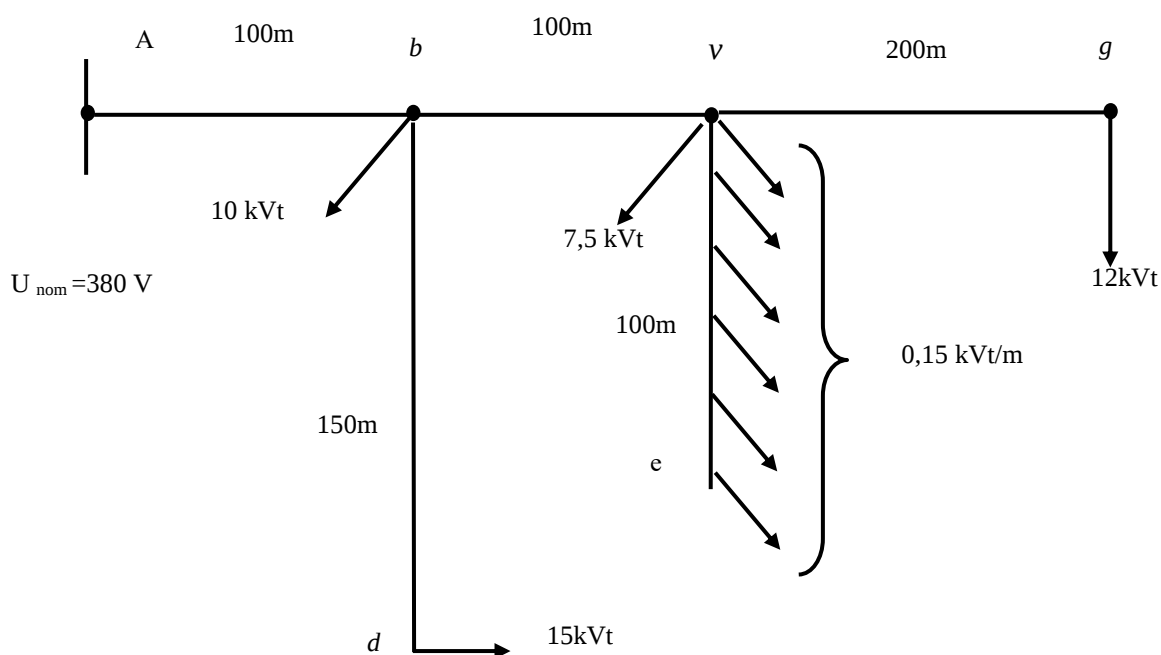
Usı markadağı ótkizgishlerden qurılğan liniyalardıń uzınlıq birligi ushın esap parametrleri tómendegishe: $r_0=0,162 \text{ Om/km}$, $x_0=0,413 \text{ Om/km}$ hám $r_0=0,306 \text{ Om/km}$, $x_0=0,434 \text{ Om/km}$.

Tańlangan ótkizgishler ushın kernew ısırabınıń eń úlken mánisin anıqlaymız:

$$\Delta U_{en.úlk} = \frac{(9 \cdot 0,162 + 6,89 \cdot 0,413) \cdot 10 + (4 \cdot 0,306 + 2,48 \cdot 0,434) \cdot 6}{35} = 1,624 \text{ V}.$$

Demek, $\Delta U_{en.úlk} < \Delta U_{rux}$, hám sol sebepli qabıl qılınğan markadağı ótkizgishler máseleniń shártin qanaatlandıradı.

7.5-másele. 7.6-súwrette joybarlastırılıp atırğan 380V kernewli elektr tarmaqtıń sxeması kórsetilgen. Tarmaqta mıs tamırlı kabellerden paydalanıw kózde tutılğan. Ag magistralda bir qıylı kese-kesim maydanlı kabeldan paydalanıwğa qarar qılınğan. Tarmaqtıń óz-aldına liniyaları uzınlıqları (m), sonday-aq, júklemeler (kVt) súwrette keltirilgen.



7.6-súwret

Kabellerdiń kese-kesim maydanların ruxsat etilgen kernew ısırabı boyınsha tańlań. $\Delta U_{rux}=5\%$ qabıl qılın.

Sheshiliwi. Kabeldiń induktiv qarsılıgın nolge teń dep qabıl qılamız. Bunday jaǵdayda kernew ısırabı júklemelerdiń aktiv quwarlılıqları hám liniyalardıń aktiv

qarsılıqları menen belgilenedi. Usı máselede ruxsat etilgen kernew tómendegige teń:

$$\Delta U_{nux} = \frac{5}{100} \cdot 380 = 19V.$$

Kabellerdiń kese-kesim maydanın tańlawda bul mánis itibarǵa alınırıwı lazım. Ag magistral ushın kese-kesim maydanın anıqlaymız (mıs ushın salıstırmalı qarsılıq $\rho = 18,8 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{km}$):

$$F_{Ag} = \frac{\rho \cdot (P_{Ab} l_{Ab} + P_{bv} l_{bv} + P_{vg} l_{vg})}{\Delta U_{nux} \cdot U_{nom}} = \frac{18,8 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (15+7,5) \cdot 0,2 + 12 \cdot 0,4] \cdot 10^3}{19 \cdot 380} = 30,8 \text{ mm}^2.$$

Kese-kesim maydanı 35 mm^2 bolǵan kabeldi qabıl qılamız. Onıń ushın $r_0 = 0,602 \text{ Om/km}$. g , v hám b noqatlarǵa shekem kernewdiń haqıyqıy ısırabın esaplaymız:

$$\begin{aligned} \Delta U_{Ag} &= \frac{r_0 \cdot (P_{Ab} l_{Ab} + P_{bv} l_{bv} + P_{vg} l_{vg})}{U_{nom}} = \frac{0,602 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (7,5+15) \cdot 0,2 + 12 \cdot 0,4] \cdot 10^3}{380} = 18,7 < \Delta U_{nux}; \\ \Delta U_{Av} &= \frac{0,602 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (7,5+15+12) \cdot 0,2] \cdot 10^3}{380} = 14,8V; \\ \Delta U_{Ab} &= \frac{0,602 \cdot (10+15+7,5+15+12) \cdot 0,1 \cdot 10^3}{380} = 9,4V. \end{aligned}$$

be shaqapsha ushın ruxsat etilgen kernew ısırabı hám kabeıdiń oǵan sáykes keliwshi kese-kesim maydanın tabamız (bunda bir tegis bólistirilgen júklemeli shaqapshanıń ortasında quyılıwshı jámlengen júkleme menen almastırıladı):

$$\begin{aligned} \Delta U_{ve \text{ rux}} &= 19 - 14,8 = 4,2 \text{ V}, \\ F_{ve} &= \frac{18,8 \cdot 15 \cdot 0,05 \cdot 10^3}{4,2 \cdot 380} = 9,1 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

Standart kese-kesim maydanı 10 mm^2 ($r_0 = 2,1 \text{ Om/km}$) bolǵan kabeldi qabıl qılamız hám e noqatqa shekem haqıyqıy kernew ısırabın esaplaymız:

$$\Delta U_{Ae} = 14,8 + \frac{21 \cdot 0,051 \cdot 10^3}{380} = 14,8 + 4,15 = 18,95 \text{ B} \approx \Delta U_{pyx}$$

bd shaqapsha ushın da usı sıyaqlı esaplawlardı ámelge asıramız.

Ruxsat etilgen kernew ısırabın esaplaymız:

$$\Delta U_{bd\ rux} = 19 - 9,4 = 9,6\text{ V},$$

kabeldiń kese-kesim maydanın tabamız:

$$F_{bd} = \frac{18,8 \cdot 15 \cdot 0,15 \cdot 10^3}{9,6 \cdot 380} = 11,6 \text{ mm}^2.$$

Standart kese-kesim maydanı 16 mm^2 ($r_0 = 1,32\text{ Om/km}$) bolǵan kabeldi tańlaymız hám d noqatqa shekem haqıyqıy kernew ısırabın tabamız:

$$\Delta U_{Ad} = 9,4 + \frac{1,32 \cdot 15 \cdot 0,15 \cdot 10^3}{380} = 9,4 + 7,82 = 17,2\text{ V}.$$

7.6-másele. Maksimal júklemesi 3200 kVt hám $\cos\varphi = 0,8$ bolǵan qurılıp atırǵan zavodtı rayon podstanciyasınıń 10 kV kernewli shinasınan úsh mıs tamırlı kabellerden qurılıwshı eki liniya arqalı támiynlew kózde tutilǵan. Hár eki kabel de transheyada bir-birinen 100 mm aralıqta jatqarıladı. Trassa boyınsha jer qatlamınıń eń joqarı ortasha aylıq temperaturası 20° C . Zavodtaǵı texnologiyalıq process elektr támiynatınıń úzliksizligin talap etkenligi sebepli bir kabel isten shıqqanda tolıq quwatlıq ekinshi kabel arqalı uzatılıwı shárt. Maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı 4000 saat .

Kabellerdiń tamırları kese-kesim maydanların anıqlań.

Sheshiliwi. Joybarlastırılıp atıǵan elektr tarmaǵınıń normal jumıs jaǵdayında kabellerden aǵıwshı toklardı esaplaymız:

$$I_{enulk} = \frac{3200}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,8} = 115\text{ A}$$

$T_{maks} = 4000\text{ saat}$ bolǵanda mıs tamırlı hám qaǵaz izolyasiyalı kabeller ushın toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı $j_{ek} = 2,5\text{ A/mm}^2$, sol sebepli kabel tamırınıń kese-kesim maydanı tómendegishe anıqlanadı:

$$F_{ek} = \frac{115}{2,5} = 46 \text{ mm}^2.$$

Kabeldiń usı mániske jaqın bolǵan standart kese-kesim maydanı 50 mm^2 qa teń.

Hár biriniń kese-kesim maydanı 50 mm^2 bolǵan eki kabeldi jatqızıwdıń qızıw shártleri boyınsha ruxsat etilgenligin tekseremiz.

Temperaturası 15^0 C bolğan jerdiń astına jatqızılğan bunday kese-kesim maydanlı bir kabel ushın uzaq waqıt dawamında ruxsat etilgen eń úlken tok 180 A di quraydı. Bul mánis EQDQ da keltirilgen ruxsat etilgen toklar tablicasında belgilengen. Bul jerde tómendegi tuwrılawlardı itibarğa alamız: jerdiń astında qatar jatqızılıwshı kabellerdiń sanı boyınsha; jerdiń temperaturası hám avariyanı dúzetiw waqıtında ruxsat etilgen asa júkleme boyınsha.

EQDQ dağı tablicalarğa muwapıq birinshi tuwrılaw koefficienti 0,9 ,ekinshisi bosa 0,94 ke teń ekenligin anıqlaymız. Úshinshi tuwrılaw koefficienti kabeldiń avariyaдан aldınğı jaǵdayındaǵı júkleme koefficienti anıqlanǵannan soń tabılıwı múmkin. Eki bir waqıtta islewshi kabeller ushın uzaq waqıt dawamında ruxsat etilgen toktı anıqlaymız:

$$I_{rux}=0,90\cdot0,94\cdot180=152\text{ A}.$$

$I_{eń.úlk}=0,68I_{rux}$, yaǵnıy $I_{rux}>I_{eń.úlk}$, bolǵanlıǵı sebepli joybarlastırılıp atırǵan liniyanıń normal jumıs jaǵdayında tamirlarınıń kese-kesim maydanı 50 mm^2 bolğan kabellerde tamirlardıń temperaturası ruxsat etilgen eń úlken mánisten kishi bolıp, 60^0 C nı quraydı.

Maksimal hám bir kabel isten shıqqan jaǵdayda ruxsat etilgen eń úlken toklar ortasındaǵı qatnastı anıqlaymız. Kabellerdiń normal jumıs shárayatlarındaǵı júkleme boyınsha tabılǵan avariya jaǵdayında ruxsat etilgen asa júklemesi 1,25 ti quraydı.

Bunday jaǵdayda

$$I_{rux}=0,94\cdot1,25\cdot180=211\text{ A},$$

$$I_{eń.úlk.av}=2\cdot115=230\text{ A}, \text{ demek } I_{rux}<I_{eń.úlk.av}.$$

Anıqlanǵan qatnas sonı kórsetedi, kese-kesim maydanı 50 mm^2 bolğan kabeller avariya jaǵdayında tolıq quwatlıqtıń uzatılıwın támiynley almaydı.

Tamirlardıń kese-kesim maydanı 70 mm^2 bolğan kabellerdi jatqızıw imkaniyatın kórip shıǵamız. Bunday bir kabel ushın jerdiń temperaturası 20^0 C hám avariya jaǵdayında múmkin bolğan asa júklemede ruxsat etilgen tok tómendegige teń:

$$I_{rux}=0,94\cdot1,25\cdot215=252\text{ A}.$$

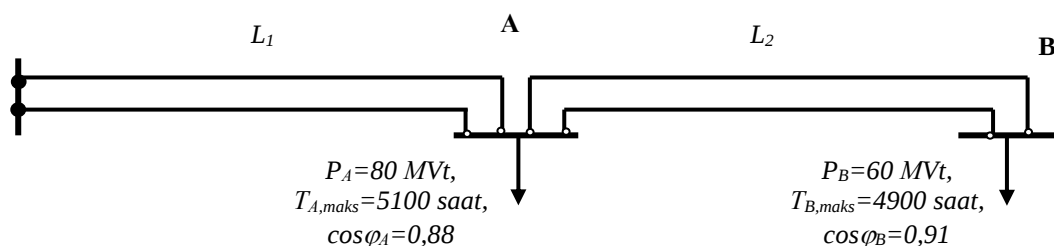
Bul tok zavodtın tolıq quwatlıǵı menen belgileniwshi eń úlken toktan úlken. Demek, tamırlardıń kese-kese maydanı 70 mm^2 bolǵan kabeller liniyanıń normal hám avariya jaǵdaylarında islew shárayatların qanaatlandıradı. Sol sebepli joybarlastırılıp atırǵan liniya ushın olar tańlanıwı lazım.

7.5. Óz betinshe sheshiw ushın máseleler

1. 110 kV nominal kernewli eki shınjırılı hawa liniyası arqalı támiynleniwshi paydalanıwshınıń maksimal júklemesi 40 MVt , aktiv quwatlıq koefficienti $0,9$ hám maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı 5500 saat .

Liniya ótkizgishin toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlań hám onı tajlanıw hám ortalıqtıń temperaturası $+20^\circ \text{ C}$ bolǵan jaǵdayda qızıw shártleri boyınsha tekseriń.

2. Sxeması 7.7-súwrette kórsetilgen 220 kV nominal kernewli elektr tarmaq hawa liniyalarınıń ótkizgishlerin toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlań. Tańlangan ótkizgishlerdi tajlanıw shárti hám ortalıqtıń temperaturası $+20^\circ \text{ C}$ bolǵan jaǵdayda qızıw shártleri boyınsha tekseriń.

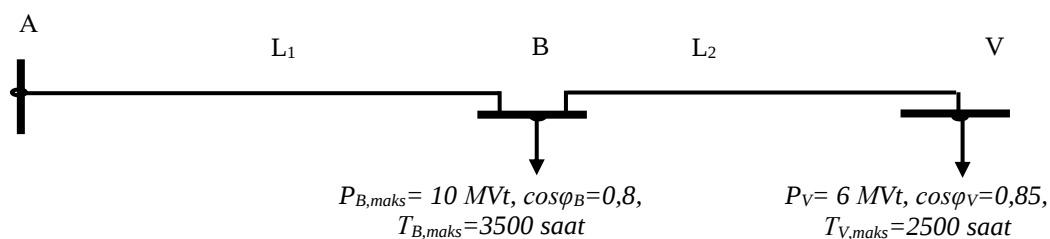


7.7-súwret

Paydalanıwshılardıń maksimal júklemeleri, aktiv quwatlıq koefficientleri hám maksimal júklemeden paydalanıw waqıtları sxemada keltirilgen.

3. Sxeması 7.8-súwrette kórsetilgen 35 kV nominal kernewli elektr tarmaqtıń hawa liniyaları ótkizgishlerin toktıń ekonomikalıq tıǵızlıǵı boyınsha tańlań.

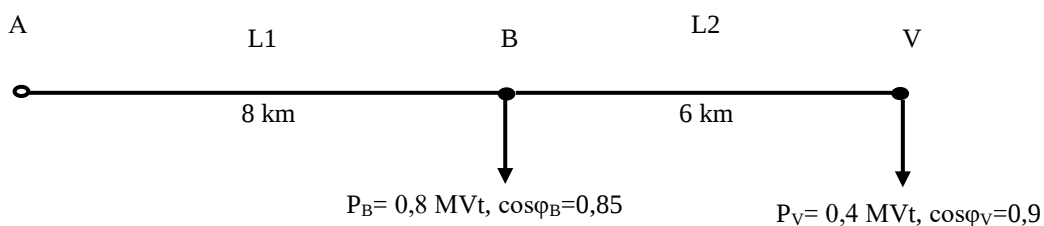
Paydalanıwshılardıń maksimal júklemeleri, aktiv quwatlıq koefficientleri hám maksimal júklemeden paydalanıw waqıtları sxemada keltirilgen.



7.8-súwret

4. B hám V punktlerde jaylasqan paydalanıwshılar A podstanciyasınıń shinasınan bir 10 kV nominal kernewli hawa liniyası arqalı támiynlenedi (7.9-súwret). Paydalanıwshılardıń maksimal júklemeleri hám aktiv quwatlıq koefficientleri hámde punktler aralarındaǵı aralıq sxemada keltirilgen. Hár eki paydalanıwshılar ushın maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı 2800 saat .

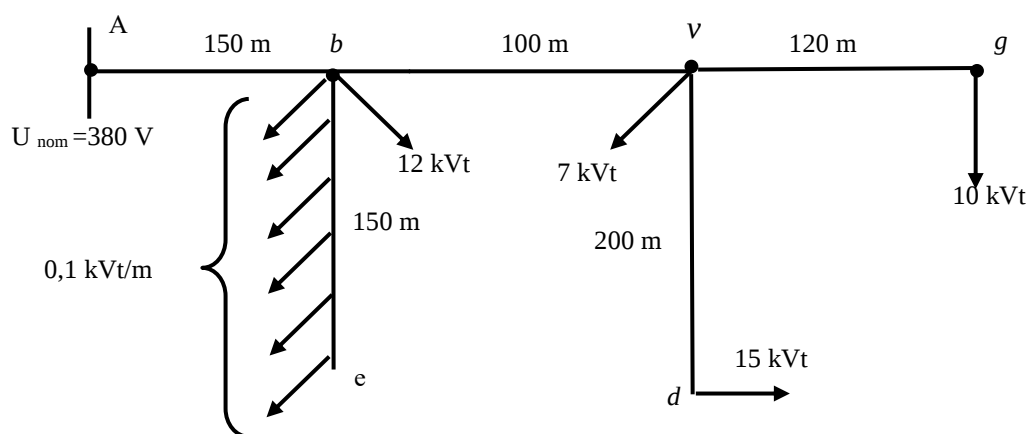
Liniya ótkizgishleriniń kese-kesim maydanların 5% ke teń bolǵan ruxsat etilgen kernew ısırabı boyınsha, pútkil tarmaqta toktıń tıǵızlıǵı turaqlı bolıwı shártinen kelip shıǵıp, tańlań.



7.9-súwret

5. Sxeması 7.10-súwrette kórsetilgen 380 V nominal kernewli elektr tarmaqtı mıs tamırlı kabellerden qurıw názerde tutılıp, onıń *ad* magistralında bir qıylı kabeldi qollawǵa qarar qılınǵan. Óz-aldına liniyalardıń uzınlıqları hám júklemelerdiń mánisleri sxemada keltirilgen.

Kabellerdiń kese-kesim maydanların kernew ısırabınıń ruxsat etilgen mánisi boyınsha tańlań. Kernew ısırabınıń ruxsat etilgen mánisi $\Delta U_{rux} = 5\%$ qabıl qılınsın.



7.10-súwret

6. Maksimal júklemesi $3,5 \text{ MVt}$, aktiv quwatlıq koefficientleri $\cos\varphi=0,75$ hám maksimal júklemeden paydalanıw waqıtı 4500 saat bolğan elektr paydalanıwshıların úsh mıs tamırlı kabellerden tayarlangan 10 kV nominal kernewdegi eki shınjırlı kabel liniyası arqalı támiynlew názerde tutılğan. Kabeller ulıwma transheyada aralarında 100 mm aralıqta qaldırılıp jatqızılıwı shárt. Trassa dawamında topıraqtıń eń joqarı ortasha aylıq temperaturası $+20^{\circ} \text{ C}$. Paydalanıwshıda islep shıǵarıw procesi elektr támiynatınıń úzilip qalmawın talap etedi. Sol sebepli kabellerden biri isten shıqqan jaǵdayda paydalanıwshıǵa barlıq quwatlıqtı ekinshi kabel arqalı uzatıw támiynleniwi shárt.

Kabel tamırlarınıń kese-kesim maydanın tańlań.

8-BAP. ELEKTR TARMAQLARÍNDÁ QUWATLÍQ HÁM ENERGIYA ÍSÍRAPLARÍN KEMEYTIRIW ILÁJLRÍ

Elektr tarmaqlarında ısıraplardı kemeytiriw janılığını únemlewdiń áhmiyetli dereklerinen biri.

Elektr energiya ısırapların analizlewde ısırap tómendegi túrlerge ajratıladı:

ısıraptıń esabat mánisi;

ısıraptıń esaplıq yaki texnikalıq mánisi;

kommerciyalıq ısıraplar.

Elektr energiya ısırabın kemeytiriw ushın kóplep ilájlar ısılep shıǵarılǵan bolıp, olardan eń optimalın tańlaw máselesi quramalı bolǵanlıǵı ushın olardı klassifikaciyalaw, yaǵnıy túrlerge ajratıwǵa zárúrlik payda etti. Bunday ilájlar tiykarınan úsh toparǵa bólinedi: shólkemlik, texnikalıq hám elektr energiyanı esaplıq hám texnikalıq esapqa alıw sistemaların jetilistiriw ilájları.

Shólkemlik ilájlardı engiziw hesh qanday qosımsha kapital qárejetlerdi talap etpeydi. Texnikalıq ilájlar bolsa kapital qárejetlerdi talap etedi.

8.1. Bólistiriwshi elektr tarmaq jaǵdayların reaktiv quwatlıq, kernew hám transformaciya koefficientleri boyınsha optimallastırıw

Usı parametrler boyınsha optimallaw elektr energiya ısırabın kemeytiriwdiń tiykarǵı shólkemlik ilájlardan biri esaplanadı. Optimallastırıw máselesi elektr tarmaqtıń, barlıq texnikalıq shártler orınlangan jaǵdayda, ısırap eń kishi bolıwshı turaqlı jaǵdayın anıqlawdan ibarat.

Bul máseleni sheshiwde turaqlı jaǵdaydın teńlemesi kórinisindegi hám baqlawshı shamalardıń ózgeriw aralıqlarına qoyılǵan teńsizlik kórinisindegi shegaralıq shártler esapqa alınadı. Maqset (optimallastırılıwshı) funkciya bolıp, tarmaқтаǵı aktiv quwatlıq ısırabı funkciyası ΔP esaplanadı.

Optimallaw máselesin sheshiwde barlıq túyinlerdiń, yaǵnıy retlew imkániyatına iye bolmaǵan júkleme túyinleriniń kernewleri, generasiyalawshı

dereklerdın reaktiv quwatlıqları, transformatorlardın transformaciyalaw koefficientleri, sonday-aq, baqlawshı liniyalardın tokları boyınsha shegaralıq shártler esapqa alınadı. Sonday qılıp, usı másele matematikalıq kóriniste , ulıwma jaǵdayda, tómendegishe ańlatıladı

$$\Delta P \rightarrow \min \quad (8.1)$$

$$\left. \begin{aligned} W_i &= P_i - P_{i3} = 0, \quad i \in \Gamma + H; \\ W_i &= Q - Q_{i3} = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

$$U_{i,\min} \leq U_i \leq U_{i,\max} \quad i \in \Gamma + H; \quad (8.3)$$

$$Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}; \quad i \in \Gamma - \Gamma_1; \quad (8.4)$$

$$K_{Tl,\min} \leq K_{Tl} \leq K_{Tl,\max}; \quad l \in T_a; \quad (8.5)$$

$$\left. \begin{aligned} K'_{Tl,\min} &\leq K'_{Tl} \leq K'_{Tl,\max} \\ K''_{Tl,\min} &\leq K''_{Tl} \leq K''_{Tl,\max} \end{aligned} \right\} \quad l \in T_k; \quad (8.6)$$

$$P_{l,\min} \leq P_l \leq P_{l,\max}; \quad l \in L_p; \quad (8.7)$$

$$I_{l,\min} \leq I_l \leq I_{l,\max}; \quad l \in L_I; \quad (8.8)$$

Bul jerde $P_i, Q_i, P_{i3}, Q_{i3} - i$ – túyinniń esaplanıwshı hám berilgen aktiv hám reaktiv quwatlıqları; $U_i, U_{i,\min}, U_{i,\max} - i$ – túyindegı kernew, hámde onıń berilgen minimal hám maksimal shegaralıq mánisleri; $K_{Tl}, K'_{Tl}, K''_{Tl} - l$ – shaqapshadaǵı transformator kompleks transformaciyalaw koefficientiniń moduli, haqıyqıy hám jorımal bólekleri; $P_l, I_l -$ aktiv quwatlıq aǵımı hám togı baqlanıwshı l -shaqapshanıń esaplanıwshı aktiv quwatlıǵı hám togı; G, J –generaciya hám júkleme túyinleri toplamları; G_1 –reaktiv quwatlıǵı retlenbeytuǵın generaciya túyinleri toplamı; $T_0, T_k -$ retlenetuǵın haqıyqıy hám kompleks transformaciyalaw koefficientlerine iye bolǵan shaqapshalar toplamları; $L_r, L_I -$ aktiv quwatlıq aǵımı hám togı baqlanıwshı shaqapshalar toplamları.

(8.1)–(8.8) máseleni sheshiwdiń eń qolay usılı onı Lagranj funkciyasın dúziw arqalı shártsiz optimallaw máselesine keltiriwge tiykarlangan. Bunda eriksiz belgisizler boyınsha hám funkcional shegaralıq shártlerdi jariyma funkciyası járdeminde, teńlik kórinisindegi shegaralıq shártlerdi bolsa, belgisiz Lagranj

kóbeytiriwshileri arqalı esapqa alıp, tómendegi shártsız optimallaw máselesi payda etiledi:

$$L = \Delta P + III + \sum_{i \in \Gamma + H} \lambda'_i W'_i + \sum_{i \in \Gamma_1 + H} \lambda''_i W''_i. \quad (8.9)$$

Bul jerde $III = \sum_{i \in \Gamma + H} III_{U_i} + \sum_{i \in \Gamma} III_{Q_i} + \sum_{i \in \Gamma_P} III_{P_i} + \sum_{i \in \Gamma_1} III_{Q_i}$ bolıp, ol sáykes shegaralıq shárt orınlanganda nolge teń hám buzılǵanda buzılıw dárejesine proporcional tárizde tez artıwshı jariyma funkciyalarınń jıyındısı; λ'_i , λ''_i – belgisiz Lagranj kóbeytiriwshileri.

Optimallanıwshı parametrlerdıń mánisleri, mısalı optimal kernewler (8.9) funksiya minimumlıǵınıń zárúrli shártinen payda etilgen tómendegi teńlemeler sistemasın sheshiw tiykarında tabıladı:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial \lambda'_i} = W'_i = P_i - P_{i3} = 0, \quad i \in \Gamma + H, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda''_i} = W''_i = Q_i - Q_{i3} = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H, \\ \frac{\partial L}{\partial \delta_i} = \frac{\partial F}{\partial \delta_i} + \sum_{j \in \Gamma + H} \lambda'_j \frac{\partial W'_j}{\partial \delta_i} + \sum_{j \in \Gamma_1 + H} \lambda''_j \frac{\partial W''_j}{\partial \delta_i} = 0, \quad i \in \Gamma + H, \\ \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + \sum_{j \in \Gamma + H} \lambda'_j \frac{\partial W'_j}{\partial U_i} + \sum_{j \in \Gamma_1 + H} \lambda''_j \frac{\partial W''_j}{\partial U_i} = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H, \\ \frac{\partial L}{\partial U_t} = \frac{\partial F}{\partial U_t} + \sum_{j \in \Gamma + H} \lambda'_j \frac{\partial W'_j}{\partial U_t} + \sum_{j \in \Gamma_1 + H} \lambda''_j \frac{\partial W''_j}{\partial U_t} = 0, \quad i \in \Gamma - \Gamma_1. \end{array} \right. \quad (8.10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + \sum_{j \in \Gamma + H} \lambda'_j \frac{\partial W'_j}{\partial U_i} + \sum_{j \in \Gamma_1 + H} \lambda''_j \frac{\partial W''_j}{\partial U_i} = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H, \\ \frac{\partial L}{\partial U_t} = \frac{\partial F}{\partial U_t} + \sum_{j \in \Gamma + H} \lambda'_j \frac{\partial W'_j}{\partial U_t} + \sum_{j \in \Gamma_1 + H} \lambda''_j \frac{\partial W''_j}{\partial U_t} = 0, \quad i \in \Gamma - \Gamma_1. \end{array} \right. \quad (8.11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial U_t} = \frac{\partial F}{\partial U_t} + \sum_{j \in \Gamma + H} \lambda'_j \frac{\partial W'_j}{\partial U_t} + \sum_{j \in \Gamma_1 + H} \lambda''_j \frac{\partial W''_j}{\partial U_t} = 0, \quad i \in \Gamma - \Gamma_1. \end{array} \right. \quad (8.12)$$

Bul jerde P_i , Q_i , P_{i3} , Q_{i3} – i -túyinniń esaplıq hám berilgen aktiv hám reaktiv quwatlıqları; U_i , δ_i – i -túyin kompleks kernewiniń moduli hám fazası.

Esaplawlardı qolaylastırıw maqsetinde hár bir jaqınlasıwda joqarıdaǵı sistemanı sheshiw úsh–(8.10), (8.11), (8.12) podsistemalardı izbe-iz tárizde sheshiw tiykarında ámelge asırıladı. (8.10) podsistemanı sheshiw nátiyjesinde barlıq túyinler kernewleriniń fazaları hám modullerı (kernewi optimallanıwshı túyinnen tısqarı); (8.11) podsistemanı sheshiw nátiyjesinde belgisiz Lagranj

kóbeytiwshileri hám (8.12) podsystemanı sheshiw nátiyjesinde reaktiv quwatlıq deregine iye bolǵan túyinlerdiń optimal kernewleri modulleri tabıladı.

Jabıq konturlardıń bir jınıslı emesligin kemeytiriw. Elektr paydalanıwshılardıń támiynlewde joqarı isenimlilikke támiynlew maqsetinde jabıq tarmaqlardan paydalanıladı. Bunnan tısqari jabıq tarmaqlardan paydalanılǵanda, ısıraplardı ashıq tarmaqlardaǵıǵa salıstırǵanda kemeytiriw imkaniyatları payda bolıwı múmkin.

Jabıq tarmaq bir jınıslı bolǵanda olardan paydalanıwshılardıǵa quwatlıq uzatıw eń kem ısıraplarda ámelge asadı. Bunday tarmaqlar konturdı qurawshı shaqapshalardıń aktiv hám reaktiv qarsılıqlarınıń qatnasları bir qıylılıǵı menen xarakterlenedi, yaǵnıy

$$\frac{X_i}{r_i} = \text{const.}$$

Bir jınıslı emes (bir jınıslı bolmaǵan) jabıq elektr tarmaqlarda konturdı qurawshı shaqapshalardıń qarsılıqları qatnasları túrlishe. Bunday tarmaqlarda quwatlıqlardıń tábiyiy bólistiriliwi tolıq qarsılıq $z=r+jx$ boyınsha ámelge asadı.

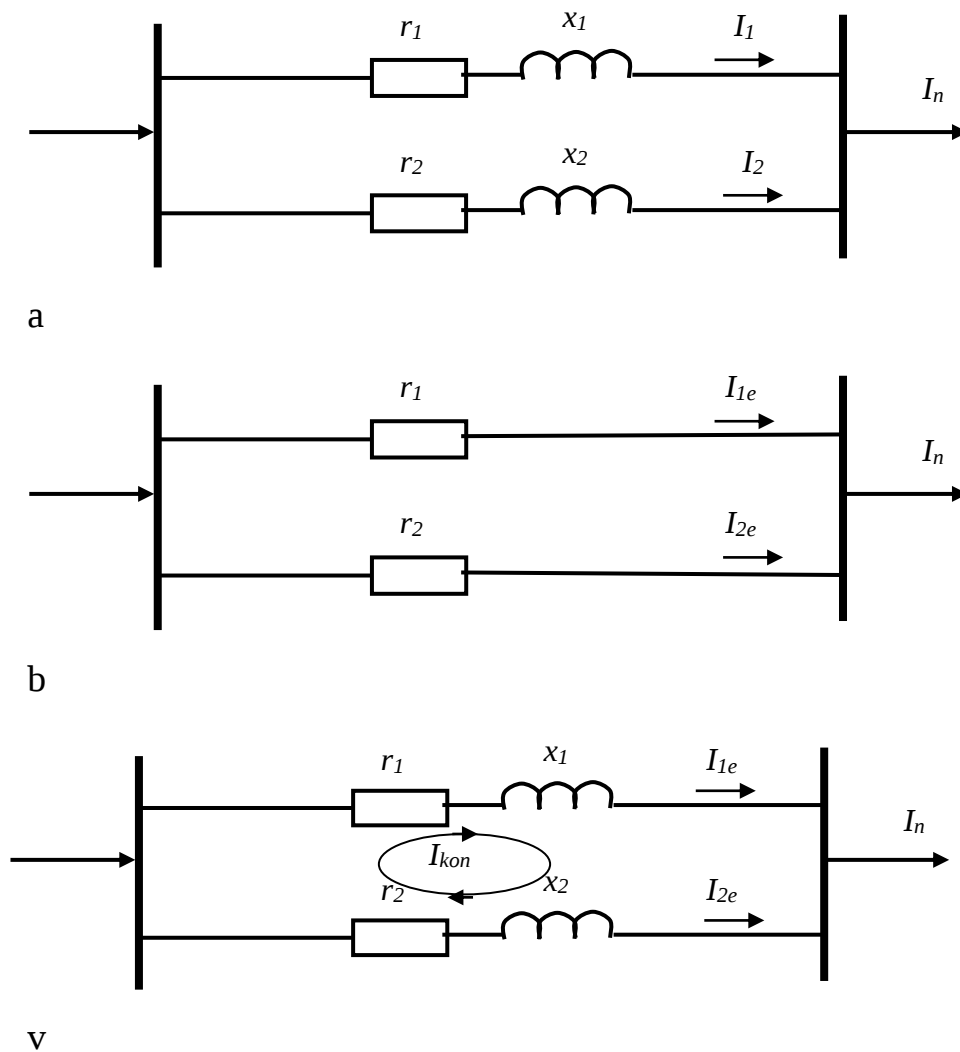
Jabıq tarmaqda quwatlıqtıń ondaǵı ısıraptı eń kem bolıwı jaǵdayına sáykes keliwshi ekonomikalıq bólistiriliwi onı tek aktiv qarsılıq boyınsha bólistiriliwi menen bir qıylı boladı.

Bir jınıslı emes jabıq elektr tarmaqta quwatlıqlar aǵımınıń ekonomikalıq bólistiriw imkaniyatların úyreniw ushın bir konturlı jabıq tarmaqtı kórip ótemiz (8.1, a-súwret).

Sxemada kórsetilgen I_1, I_2, I_{1e}, I_{2e} —toklar konturda quwatlıqlar tábiyiy hám ekonomikalıq bólistirilgen jaǵdaylarǵa sáykes kelip, berilgen tarmaq ushın olardıń mánisleri Kirxgoftıń birinshi hám ekinshi nızamlarınan paydalanıp, tómendegishe esaplanıwı múmkin:

$$I_1 = I_n \cdot \frac{r_2 + jx_2}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)}, \quad I_2 = I_n \cdot \frac{r_1 + jx_1}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)},$$

$$I_{1e} = I_n \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}, \quad I_{2e} = I_n \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$



8.1-súwret

Eger 8.1, a-súwrette súwretlengen konturda tarmaqtıń bir jınıslı emesligi sebepli teńlestiriwshi tok I_{kon} aǵadı dep esaplasaq (8.1, v-súwret), ol jaǵdayda tabiiy hám ekonomikalıq bólistiriw jaǵdayları ushın toklar tómendegi ańlatpalar menen baylanısqan:

$$I_1 = I_{1e} + I_{kon}; \quad I_2 = I_{2e} - I_{kon}.$$

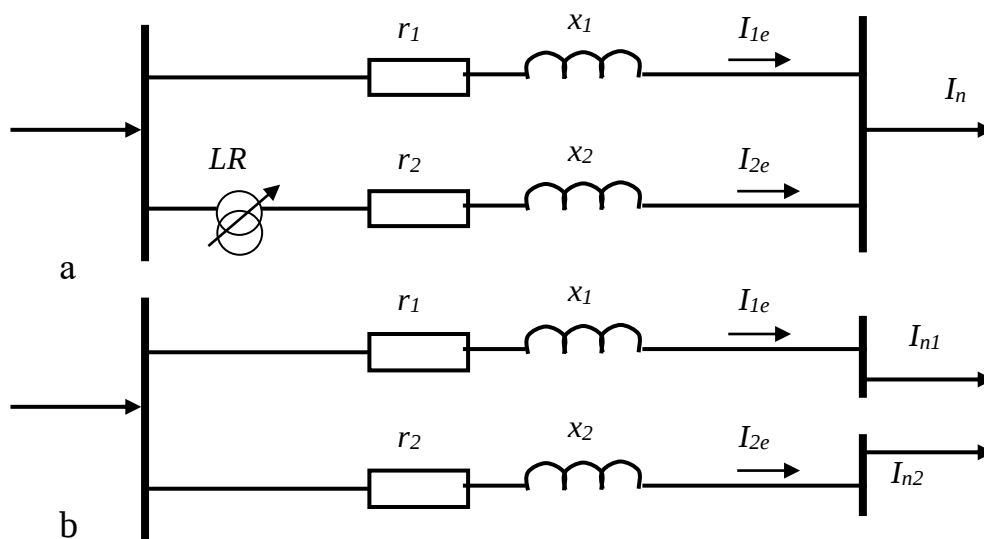
Solay etip, jabıq elektr tarmaqlarda quwatlıq ısırabın minimallaw ushın olarda teńlestiriwshi toklardı nolge keltiriw lazım. Bul tarmaqtıń bir jınıslı emesligin kemeytiriw yaki teńlestiriwshi toklardı kompensaciyalaw arqalı ámelge asırıladı.

Tarmaqtıń bir jınıslı emesligin kemeytiriw ótkizgishlerdiń kese-kesim maydanların ózgertiw hám BKQ (boyǵa kompensaciyalawshı qurılma) jalǵaw arqalı ámelge asırılıwı mǘmkin.

Teńlestiriwshı kontur tokların kompensaciyalaw eki jol menen ámelge asırılıwı mǘmkin:

1) kompensaciyalawshı teńlestiriwshı toklardı payda etiw arqalı (konturda quwatlıq aǵımın retlew);

2) teńlestiriwshı toklardıń jolın úziw arqalı (tarmaq konturların ashıw arqalı) (8.2, b-súwret).



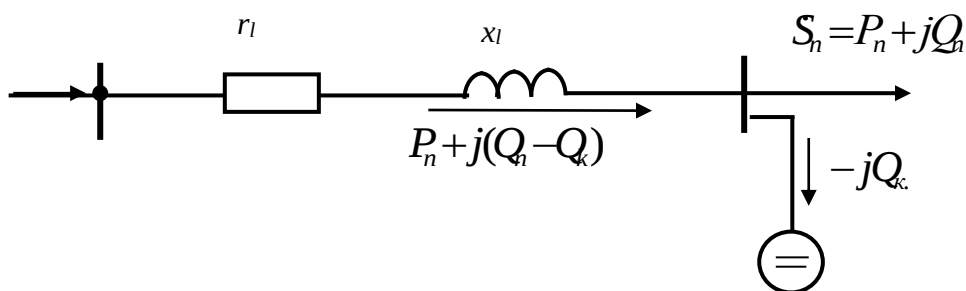
8.2-súwret

Kompensaciyalawshı teńlestiriwshı toklardı payda etiw konturlarǵa qosımsha EQK kiritiw arqalı ámelge asırıladı. Óz-náwbetinde qosımsha EQK liniya retlegishleri esabına, yaǵnıy kernewdi boyǵa-kóndeleń retlew yaki teń salmaqlıqta bolmaǵan transformaciyalaw koefficientleri esabına payda etiledi (8.2, a-súwret).

Bólistiriwshı elektr tarmaqlarda qosımsha EQKtiń mánisin yaki konturdı ashıw noqatın anıqlaw ushın onıń jaǵdayın optimallaw máselesi sheshiledi. Bunıń ushın joqarıda keltirilgen algoritmnan paydalanıw effektivli.

8.2. Bólistiriwshi elektr tarmaqlarda quwatlıq hám energiya ısırabın kemeytiriw

Bólistiriwshi elektr tarmaqlar támiynlewshi tarmaqlardan parıqlı ráwishte hámme waqıt ashıq halda isleydi. Sol sebepli olarda ısıraptı kemeytiriwdiń effektiv hám keń qollanılıwshı usılı reaktiv quwatlıqtı kompensaciyalawğa tiykarlangan. Bul usıl boyınsha ısıraptı kemeytiriw imkaniyatları menen sxeması 8.3-súwrette keltirilgen bir liniyadan ibarat bolǵan tarmaq mısasında tanısamız.



8.3-súwret

Bizge belgili, reaktiv quwatlıǵı kompensaciyalanbaǵan liniyada aktiv quwatlıq ısırabı tómendegishe anıqlanadı:

$$\Delta P = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} \cdot r_l.$$

Liniyanıń aqırında jalǵanǵan paydalanıwshılardıń janında kompensaciyalawshı qurılma jalǵanǵannan soń júklemenıń ulıwma (kompensator menen birge esaplanganda) aktiv quwatlıq koefficienti $\cos\varphi$ asadı hám liniyadaǵı aktiv quwatlıq ısırabı kemeyedi:

$$\Delta P = \frac{P_n^2 + (Q_n - Q_k)^2}{U_n^2} \cdot r_l.$$

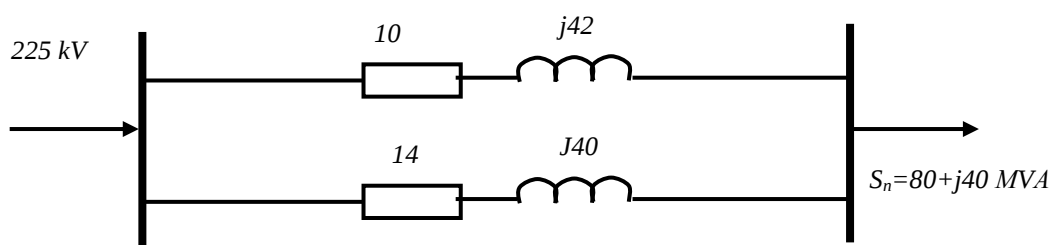
Kompensatordıń tarmaqtaǵı quwatlıq ısırabınıń eń kem bolıwın támiynlewshi optimal quwatlıqtı ısırap funkciyası minimumlıǵınıń zárúriy shárti, yaǵnıy ol boyınsha jeke tuwındınıń nolge teńliginen paydalanıp tabıw qolaylı esaplanadı:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_k} = -\frac{2(Q_n - Q_k)}{U_n^2} \cdot r_l = 0.$$

Solay etip, kórilip atırǵan tarmaq ushın $Q_{k.nom}=Q_n$. Demek, usı jaǵdayda júklemenin reaktiv quwatlıǵı kompensator járdeminde tolıq kompensaciyalanganda (liniya arqalı paydalanıwshıǵı tek aktiv quwatlıq uzatılǵanda) tarmaqtaǵı aktiv quwatlıq ısırabı minimal boladı.

8.3. Máseleler sheshiwge úlğiler

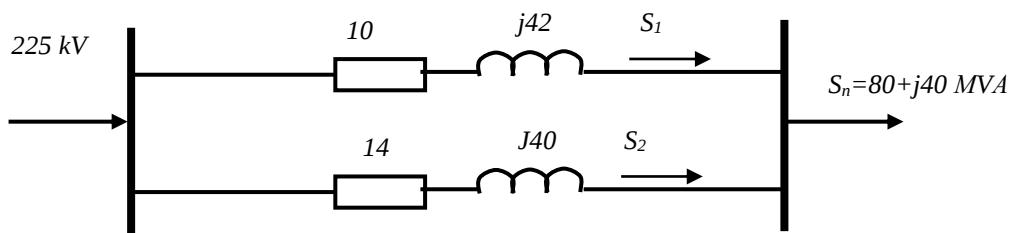
8.1-másele. Sxeması 8.4-súwrette keltirilgen jabıq elektr tarmaqta quwatlıqlar aǵımının tábiyyıy hám ekonomikalıq bólistiriliwin esaplań. Tarmaqtın minimal ısırapları menen islew jaǵdayın konturdı ashıw arqallı támiynleń.



8.4-súwret

Sheshiliwi. Tarmaqtın shaqapshalarında quwatlıq aǵımının bólistiriliwin Kirxgoftın birinshi hám ekinshi nızamlarınan paydalanıp tabamız.

Tábiyyıy bólistiriliwdi hám bul jaǵdaydaǵı aktiv quwatlıq ısırabın esaplaymız (8.5-súwret):



8.5-súwret

$$\dot{S}_1 = \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} \cdot \dot{S}_n = \frac{14 - j40}{10 - j42 + 14 - j40} \cdot (80 + j40) = 386 + j2186 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_2 = \frac{\hat{Z}_1}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} \cdot \dot{S}_n = \frac{10 - j42}{10 - j42 + 14 - j40} \cdot (80 + j40) = 414 + j1814 \text{ MVA},$$

$$\Delta P = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_H^2} \cdot r_1 + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_H^2} \cdot r_2 =$$

$$= \frac{38,6^2 + 21,86^2}{220^2} \cdot 10 + \frac{41,6^2 + 18,14^2}{220^2} \cdot 14 = 1,007 \text{ MWt}$$

Ekonomikalıq bólistiriwdi hám bul jaǵdaydaǵı aktiv quwatlıq ısırabın esaplaymız:

$$S_{1e} = \frac{r_2}{r_1 + r_2} \cdot S_n = \frac{14}{24} \cdot (80 + j40) = 46,67 + j23,33 \text{ MVA},$$

$$S_{2e} = \frac{r_1}{r_1 + r_2} \cdot S_n = \frac{10}{24} \cdot (80 + j40) = 33,33 + j16,67 \text{ MVA},$$

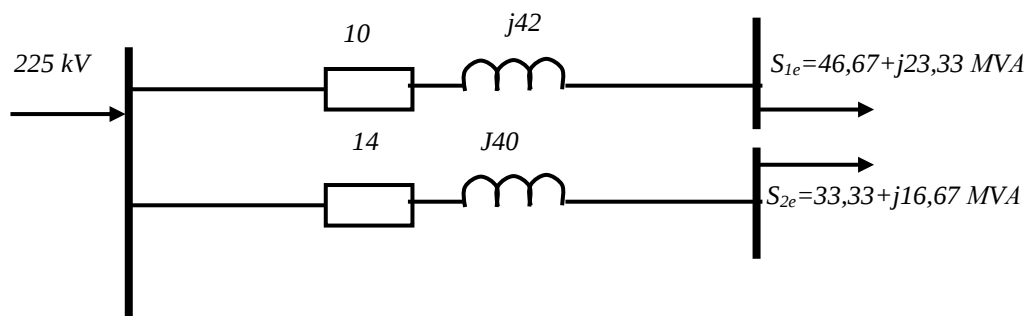
$$\Delta P_e = \frac{P_{1e}^2 + Q_{1e}^2}{U_n^2} \cdot r_1 + \frac{P_{2e}^2 + Q_{2e}^2}{U_n^2} \cdot r_2 =$$

$$= \frac{46,67^2 + 23,33^2}{220^2} \cdot 10 + \frac{33,33^2 + 16,67^2}{220^2} \cdot 14 = 0,962 \text{ MWt}$$

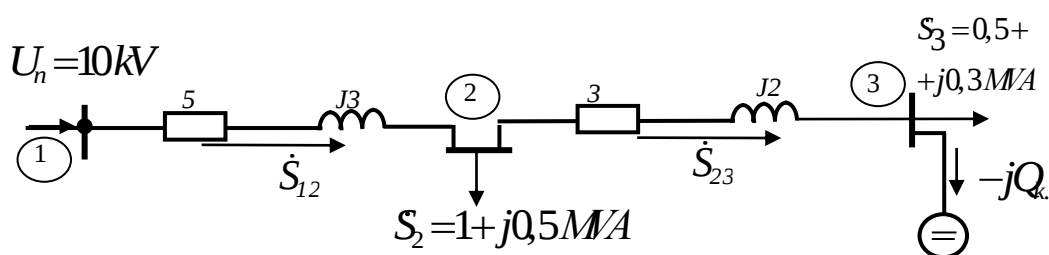
Solay etip, usı elektr tarmaǵında quwatlıq aǵımınıń ekonomikalıq bólistiriliwi nátiyjesinde aktiv quwatlıq ısırabı

$$\Delta \Delta P = \Delta P - \Delta P_e = 1,007 - 0,962 = 0,045 \text{ MWt qa, yaǵnıy } 4,5\% \text{ ke kemeyedi.}$$

Usı ekonomikalıq jaǵdaydı támiynlew ushın konturdı júkleme túyinde 8.6-súwrette súwretlengen kóriniste ašamız.



8.6-súwret



8.7-súwret

8.2-másele. Sxeması 8.7-súwrette keltirilgen ashıq elektr tarmaqtıń shetki punktindegi paydalanıwshısında jalǵanıwshı reaktiv quwatlıq kompensatorınıń tarmaқтаǵı ısıraptıń minimal bóliniwın támiynlewshı optimal quwatlıqtı tabıń.

Sheshiliwi. 1-2 hám 2-3 shaqapshalardaǵı quwatlıqlar aǵımların 2- hám 3-túyinler ushın Kirxgoftıń birinshi nızamınan paydalanıp ańlatamız:

$$\dot{S}_{12}=1,5+j(0,8-Q_k),$$

$$\dot{S}_{23}=0,5+j(0,3-Q_k).$$

Elektr tarmaқтаǵı aktiv quwatlıq ısırabın kompensatordıń belgisiz quwatlıǵı arqalı ańlatamız:

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{P_{12}^2 + Q_{12}^2}{U_H^2} \cdot r_{12} + \frac{P_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_H^2} \cdot r_{23} = \\ &= \frac{1,5^2 + (0,8 - Q_k)^2}{10} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + (0,3 - Q_k)^2}{10} \cdot 3\end{aligned}$$

Kompensatordıń optimal reaktiv quwatlıǵın aktiv quwatlıq ısırabı funkciyası minimumlıǵınıń zárúriy shártinen paydalanıp tabamız:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_k} = -\frac{2(0,8 - Q_k)}{100} \cdot 5 - \frac{2(0,3 - Q_k)}{100} \cdot 3 = 0,$$

$$Q_{k, opt.} = \frac{0,08 + 0,018}{0,1 + 0,06} = 0,612 \text{ MVAR} = 612 \text{ kVAR}.$$

Reaktiv quwatlıqtı kompensaciyalawdan alınıwshı paydanı bahalaw ushın dáslepki hám kompensatordı jalǵawdan keyingi jaǵdaylardaǵı aktiv quwatlıq ısırapların salıstıramız.

Dáslepki tarmaq ushın:

$$\Delta P = \frac{1,5^2 + 0,8^2}{10} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + 0,3^2}{10} \cdot 3 = 0,15 \text{ MVt};$$

Reaktiv quwatlıǵı kompensaciyalanǵan tarmaq ushın:

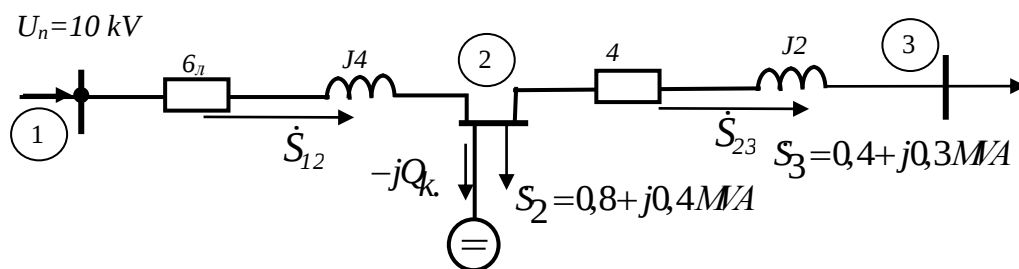
$$\Delta P_e = \frac{1,5^2 + (0,8 - 0,612)^2}{10} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + (0,3 - 0,612)^2}{10} \cdot 3 = 0,117 \text{ MVt}.$$

Solay etip tarmaq aqırında reaktiv quwatlıqtı optimal kompensaciyalaw nátiyjesinde ondaǵı ısırap

$\Delta\Delta P = \Delta P - \Delta P_g = 0,155 - 0,117 = 0,038 \text{ MVt} = 38 \text{ kVt}$ qa, yaғnıy 24,5% ke kemeyedi.

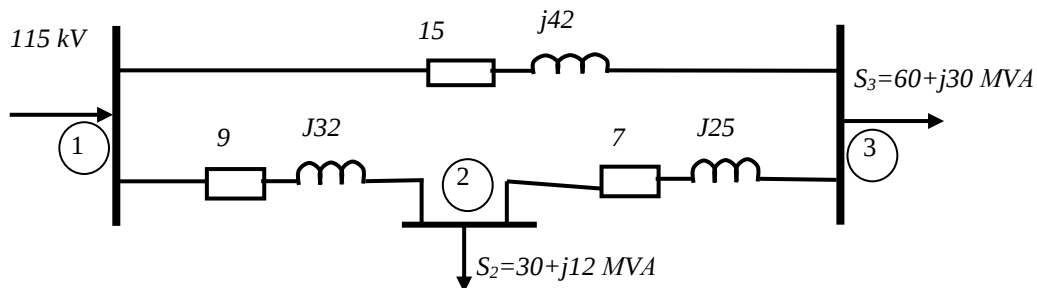
8.4. Ózbetinshe sheshiw ushın máseleler

1. Sxeması 8.8-súwrette keltirilgen elektr tarmaqta kompensatordın reaktiv quwatlıǵın ısıraptıń minimal bolıw shártı boyınsha anıqlań.



8.8-súwret

2. Sxeması 8.9-súwrette keltirilgen jabıq elektr tarmaqta quwatlıqlar aǵımınıń tábiyiy hám ekonomikalıq bólistiriliwin esaplań. Tarmaqtıń minimal ısıraplar menen islew jaǵdayın konturdı ashıw arqalı támiynleń.



8.9-súwret

G L O S S A R I Y

Almastırıw sxeması – belgili tarmaq elementiniń sonday grafikalıq kórinisi bolıp, onda usı element originalı ushın xarakterli bolǵan barlıq fizikalıq qásiyetler óz kórinisin tabadı.

Elektr energetikası sisteması – jıllılıq hám elektr energiyaların islep shıǵarıw, uzatıw, bólistiriw hám ózgertiw ushın xızmet qılıwshı ulıwma jumıs jaǵdayına iye bolǵan jasalma sistema.

Elektr sisteması – elektr energiyasın islep shıǵarıw, uzatıw, bólistiriw hám ózgertiw ushın xızmet qılıwshı ulıwma jumıs jaǵdayına iye bolǵan jasalma sistema. Elektr sisteması elektr energetikası sistemasınıń bir bólegi esaplanadı.

Elektr tarmaǵı – elektr sistemasınıń belgili aymaqtaǵı bólimi bolıp, ol elektr energiyasın uzatıw, o‘zgertiw hám bólistiriw ushın xızmet qıladı.

Ashıq elektr tarmaǵı – barlıq punktleri elektr energiyası menen tek ǵana bir baǵıtta támiynlewshi elektr tarmaǵı.

Jabıq elektr tarmaǵı – har bir punkti elektr energiya menen keminde eki baǵıttan támiynleniwshi elektr tarmaǵı.

Ápiwayı jabıq elektr tarmaǵı – punktleri ekewden artıq bolmaǵan baǵıttan elektr energiyası menen támiynleniwshi jabıq elektr tarmaǵı.

Quramalı jabıq elektr tarmaǵı – ekewden artıq baǵıttan elektr energiyası menen támiynleniwshi punktlerge iye bolǵan jabıq elektr tarmaǵı.

Radial elektr tarmaǵı – hár bir elektr paydalanıwshısın támiynlew orayı menen óz-aldına tutastırıwshı ashıq elektr tarmaǵı.

Magistral elektr tarmaǵı – támiynlew orayın bir baǵıttaǵı bir neshe paydalanıwshılar menen izbe-iz tutastırıwshı ashıq elektr tarmaǵı.

Elektr sistemasın júzege keltiriwshi elektr tarmaǵı – asa joqarı nominal kernewlerde islewshi úlken quwatlıqlı elektr stanciyaları hám sistemaların óz-ara baylanıstırıp, jalǵız basqarılıwshı ob’ket sıpatında iskerlik kórsetiwshi birlesken energetikalıq sistemanı payda etiwshi elektr tarmaǵı.

Támiynlewshi elektr tarmaǵı – elektr sistemasın júzege keltiriwshi tarmaqlardı hám elektr stanciyalarınń bólegin 110-220 kV nominal kernewli shınaların bólistiriwshi elektr tarmaqlarınıń támiynlew orayları menen baylanıstırıwshi elektr tarmaǵı.

Bólistiriwshi elektr tarmaǵı – elektr paydalanıwshılarına tikkeley jalǵanıp, olardı támiynlew orayları menen baylanıstırıwshi hám elektr energiyanı qısqa aralıqlarǵa uzatıw ushın xızmet qılıwshi elektr tarmaǵı.

Ótkizgishleri ajralǵan elektr uzatıw liniyası – har bir fazasında eki yamasa onnan artıq ótkizgish ornatılıwshi elektr uzatıw liniyası.

Oramları ajralǵan transformator – nominal kernewi bir qıylı bolǵan eki yamasa onnan artıq oramǵa iye bolǵan transformator.

Elektr tarmaǵı almastırıw sxemasınıń esaplıq parametri – elektr tarmaǵınıń almastırıw sxemasın táriyplewshi hám mánisi onıń halatına baylanıslı bolmaǵan parametr.

Elektr tarmaǵınıń hal parametrleri – elektr tarmaǵınıń belgili waqıttaǵı halatın belgilewshi parametrler.

Elektr tarmaǵınıń ornatılǵan jaǵdayı – elektr tarmaǵınıń hal parametrleri ámeliy ráwishte turaqlı yamasa júdá kem ózgeriwshi bolǵan jaǵdayı.

Elektr tarmaǵınıń avariya jaǵdayı – elektr tarmaǵınıń hal parametrleriniń mánisleri avariya júz bergende ruxsat etilmegen muǵdarda bolǵan jumıs jaǵdayı.

Elektr tarmaǵınıń avariya dan keyingi jaǵdayı – elektr tarmaǵınıń avariya saplastırılǵannan keyingi ornatılǵan jaǵdayı.

Elektr tarmaǵınıń maksimal (minimal) jumıs jaǵdayı – elektr tarmaǵınıń ulıwma júkleme eń úlken (eń kishi) bolǵan waqıttaǵı jumıs jaǵdayı.

Podstanciyanıń esaplıq júklemesi – túyindegı páseytiriwshi podstanciyanıń tómengi hám orta tárepindegi júklemeler hámde transformator daǵı quwatlıq ısıra bı jıyındısınan ibarat bolǵan júkleme.

Elektr tarmaǵında kernewdiń páseyiwi – elektr tarmaǵı elementi ushlarındaǵı kernewlerdiń kompleks mánisleriniń ayırması. (kernewler ortasındaǵı geometriyalıq ayırma).

Kernew páseyiwiniń boylama (kóldeneń) qurawshısı – kernew páseyiwiniń haqıyqıy (abstrakt) bólimi.

Elektr tarmaǵında kernew ısırabı – elektr tarmaǵı elementi ushlarındaǵı kernewlerdiń modulları ayırması.

Elektr qurılmasınıń nominal kernewi – generator, transformator, elektr tarmaqları hám paydalanıwshılarınıń normal islewi ushın arnalǵan kernew.

Transformator – eki yamasa onnan artıq óz-ara induktiv baylanısqa oramlarǵa iye bolıp, bir yamasa bir neshe ózgermeli tok sistemaların elektromagnit induksiya arqalı basqa bir yamasa bir neshe tok sistemalarına aylandırıw ushın xızmet qılıwshı statikalıq elektromagnit qurılma.

Kush transformatorı – elektr tarmaqlarınıń energiya qabıl qılıw hám onnan paydalanıw qurılmalarında qollanılıwshı transformator.

Avtotransformator – eki yamasa onnan artıq oramları óz-ara galvanikalıq baylanısqa hám ulıwma bólimge iye bolǵan transformator.

Elektr uzatıw liniyası – elektr energiyasın uzatıw ushın xızmet qılıwshı qurılmalar jıyındısı.

Támiynlewshi elektr uzatıw liniyası – belgili elektr tarmaǵın energiya menen támiynlewshi hám ózinen ajıralıp shıǵıwshı shaqabshaǵa iye bolmaǵan elektr uzatıw liniyası.

Kóp (bir) talshıqlı sım – kóndeleń kese-kesim maydanı dóńgelek formada bolǵan bir neshe (bir) sımnan quralǵan sım.

Polat-alyuminiy sım – ishki sımları (ózeǵı) polattan hám sırtqıları alyuminiydan tayarlanǵan kóp talshıqlı sım.

Kabel – ulıwma germetriyalıq qabıqqa iye bolǵan kóp talshıqlı sım yamasa óz-ara izolyasiyalanǵan bir neshe sımlar birligi.

ÁDEBIYATLAR

1. Гайибов.Т.Ш. Электр тармоқлари ва тизимлари. Ўқув қўлланма. «Ворис» нашириёти. -2010.
2. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. – Т.: «Fan va texnologiya», 2009. – 464 с.
3. Электротехнических справочник: Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии. /Под.общ.ред. профессоров МЭИ. – Издательство МЭИ, 2004, 964 с.
4. Gayibov T.Sh., Shamsutdinov H.F., Pulatov B.M. Elektr tarmoqlari va tizimlari fanidan kurs loyihasini bajarish uchun uslubiy qo‘llanma. -Toshkent: ToshDTU, 2015.-84 b..
5. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. – 2-изд., стереотипное, перепечатка с издания 1989 г./ В.И.Идельчик – М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2009. -592 с.: ил.
6. Справочник по проектированию электрических сетей. Под редакцией Д.Л.Файбисовича. Москва «Издательство НЦ ЭНАС» 2006.
7. Molderink, V. Bakker, M.G.C. Bosman, J.L. Hurink, G.J.M. Smit// IEEE Trans.Smart Grid. – 2010. - №2. – pp.109-119.
8. Т.Х.Насиров. Основы общей теории нормальных и аварийных режимов энергосистем. –Т.: «Fan va texnologiya», 2015. 224 с.
9. Вихарев А.П., Вычегжанин А.В., Репкина Н.Г. Проектирование механической части ЛЭП: Учебное пособие. – Киров: Изд. ВятГУ, 2009. -140 с.
10. Лыкин. А.В. Электрические системы и сети. Учеб. Пособие. – М.: Университетская книга; Логос, 2008 – 254 с.
11. Гойибов. Т.Ш., Шарипов.У.Б. Методическое руководство к курсовому проектированию по курсу «Электрические сети и системы». Т.: ТашДТУ 2007.

12. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. –Тошкент: Молия, 1999. - 370 с.
13. Автомизация диспетчерского управления в электроэнергетике/Под.общей.ред. Ю.Н.Руденко и В.А.Семенова. –М.: Издательство МЭИ, 2000-648 с.
14. T.Sh. Gayibov., K.M. Reymov. Optimal planning of short-term modes of power systems with control of loads of electric consumers and taking into account of network factor// Scientific journal «European Science review». Austria, Vienna, 2017. - №9-10 September-October. PP. 86-91. ISSN 2310-5577.
15. Т.Ш.Гайибов, К.М.Реймов, Х.Ф.Шамсутдинов. Оптимизация режимов электрических сетей по напряжениям узлов и коэффициентам трансформации трансформаторов. // Вестник ТашГТУ, 2014. №1 с. 56-61.
16. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. – Т.: Изд. ТашГТУ, 2014, 188 с.
17. www.ZiyoNet.uz.
18. www.twirpx.com.
19. <http://www.literature.ru/>.

1. HAWA HÁM KABELLI ELEKTR UZATÍW LINIYALARÍNÍN TEXNIKALÍQ MAĞLIWMATLARI

I.1– tablica

**35 ba 110 kV nominal kernewdegi polatalyuminiy ótkizgishli hawa
liniyalarınıń esaplıq maǵlıwmatları (100 km ushın)**

ótkizgishtiń nominal kese- kesim maydanı, mm ²	r ₀ , Om, +20 ⁰ C Da	35 kV	110 Kv		
		x ₀ ,Om	x ₀ ,Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ , Cm	q ₀ , MVAR
70/11	42,8	43,2	44,4	2,55	3,40
95/16	30,6	42,1	43,4	2,61	3,50
120/19	24,9	41,4	42,7	2,66	3,55
150/24	19,8	40,6	42,0	2,70	3,60
185/29	16,2	-	41,3	2,75	3,70
240/32	12,0	-	40,5	2,81	3,75

**220-1150 kV nominal kernewdegi polatalyuminiy ótkizgishli hawa liniyalarınıń esaplıq
maǵlıwmatları (100 km ushın)**

ótkizgisht iń nominal kese- kesim maydanı, mm ²	Fazada ǵı ótkizgi shler sanı	r ₀ , Om, +20 ⁰ C Da	220 kV			330 kV			500 kV			750 kV			1150 kV					
			x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVA R	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVA R	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVA R	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVA R	D _{or} =15 m			D _{or} =24,2 m		
															x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVAR	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVA R
240/32	1	12,1	43,5	2,60	13,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	6,0	-	-	-	33,1	3,38	40,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240/39	11	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,3	5,9 5	786,9	-	-	-
240/56	5	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,8	3,76	211,5		-	-	-	-	-
300/39	1	9,8	42,9	2,64	14,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	4,8	-	-	-	32,8	3,41	40,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300/48	8	1,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,6	4,43	585,9
300/66	3	3,4	-	-	-	-	-	-	31,0	3,97	99,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,8	4,11	231,2	-	-	-	-	-	-
330/43	3	2,9	-	-	-	-	-	-	30,8	3,60	90,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400/51	1	7,5	42,0	2,70	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3,75	-	-	-	32,3	3,46	41,5												
	3	2,5	-	-	-	-	-	-	30,6	3,62	90,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,6	4,13	232,3			-	-	-	-
400/93	4	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,9	4,13	232,3	-	-	-	-	-	-
500/64	1	6,0	41,3	2,74	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3,0	-	-	-	32,0	3,50	42,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	2,0	-	-	-	-	-	-	30,4	3,64	91,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,3	3,9	219,4	-	-	-	-	-	-

I.3– tablica

Hawa liniyalari polatilyuminiy ótkizgishleriniń diametrleri hám uzaq waqıt dawamında ruxsat etilgen tokları

Kese-kesim maydanı, mm ²	70/11	95/16	120/19	150/24	185/29	240/32	240/39
Diametr, mm	11,4	13,5	15,2	17,1	18,8	21,6	21,6
Tok, A	265	330	390	450	510	605	610

Kese-kesim maydanı, mm ²	240/56	300/39	300/48	300/66	330/43	400/51	500/64
Diametr, mm	22,4	24,0	24,1	24,5	25,2	27,5	30,6
Tok, A	610	710	690	680	730	825	945

Qaғaz izolyasiyalı kabellerdiń esaplıq maǵlıwmatları (1 km ushın)

Tamirdiń kese-kesim maydanı, mm ²	r ₀ , Om		6 kV		10 kV		20 kV		35 kV	
	Mıs	Alyuminiy	X ₀ Om	q ₀ , kVAR	X ₀ Om	q ₀ , kVAR	X ₀ Om	q ₀ , kVAR	X ₀ Om	q ₀ , kVAR
10	1,84	3,1	0,11	2,3	-	-	-	-	-	-
16	1,15	1,94	0,102	2,6	0,113	5,9	-	-	-	-
25	0,74	1,24	0,091	4,1	0,099	8,6	0,135	24,8	-	-
35	0,52	0,89	0,087	4,6	0,095	10,7	0,129	27,6	-	-
50	0,37	0,62	0,083	5,2	0,09	11,7	0,119	31,8	-	-
70	0,26	0,443	0,08	6,6	0,086	13,5	0,116	35,9	0,137	86
95	0,194	0,326	0,078	8,7	0,083	15,6	0,110	40,0	0,126	95
120	0,153	0,258	0,076	9,5	0,081	16,9	0,107	42,8	0,120	99
150	0,122	0,206	0,074	10,4	0,079	18,3	0,104	47,0	0,116	112
185	0,099	0,167	0,073	11,7	0,077	20,0	0,101	51,0	0,113	115
240	0,077	0,129	0,071	13,0	0,075	21,5	0,098	52,8	0,111	119
300	0,061	0,103	-	-	-	-	0,095	57,6	0,097	127
400	0,046	0,077	-	-	-	-	0,092	64,0	-	-

**110 hám 220 kV nominal kernewdegi may toltırılğan hám plastmassa izolyasiyalı kabellerdiń
esaplıq maǵlıwmatları (1 km ushın)**

Tamırdıń kese-kesim maydanı, mm ²	May toltırılğan					Plastmassa izolyasiyalı				
	r ₀ , Om	110 kV		220 kV		r ₀ , Om	110 kV		220 kV	
		x ₀ , Om	q ₀ , kVAR	x ₀ , Om	q ₀ , Om		x ₀ , Om	q ₀ , kVAR	x ₀ , Om	q ₀ , kVAR
150	0,122	0,200	1180	0,160	3600	-	-	-	-	-
185	0,099	0,195	1210	0,155	3650	-	-	-	-	-
240	0,077	0,190	1250	0,152	3780	-	-	-	-	-
270	0,068	0,185	1270	0,147	3850	0,092	0,120	450	0,120	1100
300	0,061	0,180	1300	0,145	3930	-	-	-	-	-
350	0,051	0,175	1330	0,140	4070	0,086	0,116	755	0,116	1900
400	0,046	0,170	1360	0,135	4200	-	-	-	-	-
425	0,042	0,165	1370	0,132	4260	-	-	-	-	-
500	0,037	0,160	1420	0,128	4450	0,060	0,110	830	0,110	2100
550	0,032	0,155	1450	0,124	4600	-	-	-	-	-
625	0,029	0,150	1500	0,120	4770	0,048	0,1	1040	0,1	2600
700	0,026	0,145	1550	0,116	4920	-	-	-	-	-
800	0,022	0,140	1600	0,112	5030	0,040	0,1	1250	0,1	3700

II – QOSIMSHA

II. TRANSFORMATOR HÁM AVTOTRANSFORMATORLARDÍN TEXNIKALIQ MAĞLIWMATLARI

II.1 – tablica

6 hám 10 kV kernewli úsh fazalı eki oramlı transformatorlar

Tip	S_{nom} kVA	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar		
		Oramlardıń nominal. kernewleri, kV		U_q , %	ΔP_q , kVt	ΔP_s , kVt	I_s , %	R_T , Om	X_T , Om	ΔQ_s , kVAR
		JN	TN							
TM - 25/6	25	6,3	0,4; 0,23	4,5-4,7	0,6-0,69	0,105-0,125	3,2	39,6	54	0,8
TM - 25/10	25	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	0,6-0,69	0,105-0,125	3,2	110	150	0,8
TM - 40/6	40	6,3	0,23	4,5	0,88	0,24	4,5	19,8	35,4	1,8
TM - 40/10	40	10	0,4	4,5-4,7	0,88-1	0,15-0,18	3,0	62,5	99	1,2
TM - 63/6	63	6,3	0,4; 0,23	4,7	1,28-1,47	0,36	4,5	13,3	23,2	1,76
TM - 63/10	63	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	1,28-1,47	0,22	2,8	37	70,5	1,76
TM – 100/6	100	6,3	0,4; 0,23	4,5-4,7	1,97-2,27	0,31-0,365	2,6	8,18	14,7	2,6
TM – 100/10	100	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	1,97-2,27	0,31-0,365	2,6	22,7	40,8	2,6
TM – 160/6-10	160	6,3;10	0,4; 0,23	4,5-4,7	2,65-3,1	0,46-0,54	2,4	4,35	10,2	3,8
TM – 250/10	250	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	3,7-4,2	1,05	2,3-3,7	6,7	15,6	9,2
TM – 400/10	400	10	0,23; 0,69	4,5	5,5-5,9	0,92-1,08	2,1-3,0	3,7	10,6	12,0
TM – 630/10	630	10	3,15;0,23;0,4;0,69	5,5	7,6-8,5	1,42-1,68	2,0-3,0	2,12	8,5	18,9

II.1 – tablicaniń dawamı

Tip	S_{nom} kVA	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar		
		Oramlardıń nominal. kernewleri, kV		U_q , %	ΔP_q , kVt	ΔP_s , kVt	I_s , %	R_T , Om	X_T , Om	ΔQ_s , kVAR
		JN	TN							
TM – 1000/6	1000	6,3	0,4; 0,69	8,0	12,2	2,3-2,75	1,5	0,44	2,84	15
TM – 1000/10	1000	10	0,4;0,69; 0,525;3,15	5,5	12,2-11,6	2,1-2,45	1,4-2,8	1,22	5,35	26
TM – 1600/10	1600	10	0,4;0,69;3,	5,5	18,0	2,8-3,3	1,3-2,6	0,7	3,27	41,6
TM – 2500/10	2500	10	0,69; 3,15	5,5	25,0-23,5	3,9-4,6	1,0	0,40	2,16	25

II.2 – tablica

10 hám 20 kV kernewli úsh fazalı eki oramlı transformatorlar

Tip	S_{nom} MVA	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar		
		Oramlardıń nominal kernewleri, kV		U_q , %	ΔP_q , kVt	ΔP_s , kVt	I_s , %	R_T , Om	X_T , Om	ΔQ_s , kVAR
		JN	TN							
TMN(TM)-4000/10	4,0	10,5	6,3(3,15)	6,5	33,5	5,98	0,9	0,24	1,8	36
TMN(TM)-6300/10	6,3	10,5	6,3(3,15)	6,5	46,5	8,33	0,8	0,13	1,14	50,4
TD-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	7,5	92	29	3,0	0,1	0,82	300
TDN-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	14,4	96	28	4,00	0,1	1,6	400

Tip	S_{nom} MVA	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar		
		JN	TN	U_q , %	ΔP_q , kVt	ΔP_s , kVt	I_s , %	R_T , Om	X_T , Om	ΔQ_s , kVAR
TDNC-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	-	-	-	-	-	-	-
TDNC-16000/10	16	10,5	6,3	-	-	-	-	-	-	-
TM – 630/20	0,63	20	0,4; 6,3; 10,5	6,5	6,3	2,45	1,97	7,0	45,5	12,4
TMN – 630/20	0,63	20	6,3; 10,5	6,5	7,6	2,0	2,0	8,5	45,5	12,6
TMN(TM)-1000/20	1,0	20	0,4; 0,63; 10,5	6,5	11,9	2,75	1,5	5,24	29,2	15
TMN(TM)-1600/20	1,6	20	0,63; 10,5	6,5	17,2	3,65	1,4	2,96	17,8	22,4
TMN(TM)-2500/20	2,5	20	6,3; 11	6,5	24,2	5,1	1,1	4,7	11,4	27,5
TMN(TM)-4000/20	4,0	20	6,3; 10,5	7,5	33,5	6,7	1,0	0,91	8,3	40
TMN(TM)-6300/20	6,3	20	6,3; 10,5	7,5	46,5	9,4	0,9	0,52	5,2	56,7
TPDN-25000/20	25	20	6,3/10,5	9,5	145	29	0,7	0,1	1,6	175
TPDN-32000/20	32	20	6,3/10,5	11,5	180	33	0,7	0,08	1,6	224
TPDN-40000/20	40	20	6,3/6,3	14	225	39	0,65	0,06	1,55	260
TPDN-63000/20	63	20	10,5/10,5	11,5	280	55	0,6	0,03	0,88	378
TM - 63/20	0,063	10	0,23; 0,4	5,3	1,47	0,29	2,8	164,0	370	1,76
TM(TMN)-100/20	0,1	20	0,23; 0,4	6,65	2,12	0,46	4,16	94,5	293	4,16
TM(TMN)-160/20	0,16	20	0,23; 0,4	6,65	2,8	0,66	2,4	49,5	182	3,84
TM(TMN)-250/20	0,25	20	0,23; 0,4	6,65	3,95	0,96	2,3	27,6	116	5,75
TM(TMN)-400/20	0,4	20	0,23; 0,4	6,5	5,5	1,35	2,1	15,2	73	8,4

Esletpе: 1. TM hám TD tipindegi transformatorlar retlew qurılmasına iye emes. TMN, TDN hám TRDN tipindegi transformatorlar joqarı tárepinde retlew diapazonı $+10 \times 1,5\%$ dan $-8 \times 1,55$ ge shekem bolǵan JAR qurılmasına iye. 2. Tómengi oramı ajratılǵan TRDN tipindegi transformatorlar ushın $X_J=0$; $X_{K1}=X_{K2}=2X_T$.

35 kV kernewli úsh fazalı eki oramlı transformatorlar

Tip	S _{nom} MVA	Retlew shegaraları	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar		
			Oramlardıń nominal. kernewleri, kV		U _q , %	ΔP _q , kVt	ΔP _s , kVt	I _s , %	R _T , Om	X _T , Om	ΔQ _s , kVAR
			JN	QN							
TM-100/35	0,1	±2 × 1,5%	35	0,4	6,5	1,9	0,5	2,6	241	796	2,6
TM-160/35	0,16	±2 × 1,5%	35	0,4; 0,69	6,5	2,6; 3,1	0,7	2,4	127; 148	498	3,8
TM-250/35	0,25	±2 × 1,5%	35	0,4; 0,69	6,5	3,7; 4,2	1,0	2,3	72; 82	318	5,7
TMN (TM)-400/35	0,4	±6 × 1,5%	35	0,4; 0,69	6,5	7,6; 8,5	1,9	2,0	23,5; 26,2	126	12,6
TMN (TM)-630/35	0,63	±6 × 1,5%	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	11,6; 12,2	2,7	1,5	14,0; 14,2	79,6	15
TMN (TM)-1000/35	1	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	6,5	16,5; 18	3,6	1,4	7,9; 8,6	49,8	22,4
TMN (TM)-1600/35	1,6	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	11,2; 12,4	49,2	17,6
TMN (TM)-2500/35	2,5	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	4,6; 5,1	31,9	27,5
TMN (TM)-4000/35	4,0	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	7,5	33,5	6,7	1,0	2,6	40	40
TMN (TM)-6300/35	6,3	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	7,5	46,5	9,2	0,9	1,4	14,6	80
TMN-10000/35	10	±9 × 1,3%	36,75	6,3; 10,5	7,5	65	14,5	0,8	0,88	10,1	80
TD-10000/35	10	±2 × 2,5%	38,5	6,3; 10,5	7,5	65	14,5	0,8	0,96	11,1	80
TD-16000/35	16	±2 × 2,5%	38,5	6,3; 10,5	8,0	90	21	0,6	0,52	7,4	120

Esletpe: 1. Kernewdi retlew joqarı tárepte jaylasqan JAR yaki QAJ qurılısı járdeminde ámelge asırıladı. 2. Qawısta kórsetilgen TN tipindegi transformatorlar joqarı tárepinde retlew diapazonı ±2×2,5% bolǵan QAJ qurılısına iye.

110 kV kernewli úsh fazalı eki oramlı transformatorlar

Tip	S_{nom} , MBA	Retlew shegaraları	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar		
			Oramlardıń nominal kernewleri, kV		U_q , %	ΔP_q , kVt	ΔP_c , kVt	I_c , %	R_T , Om	X_T , Om	ΔQ_c , kVAR
			JN	QN							
TMN-2500/110	2,5	+10×1,5 % - 8×1,5 %	110	6,6; 11	10,5	22	5,5	1,5	42,6	508,2	37,5
TMN-6300/110	6,3	± 9×1,78 %	115	6,6; 11	10,5	44	11,5	0,8	14,7	220,4	50,4
TDN-10000/110	10	± 9×1,78 %	115	6,6; 11	10,5	60	14	0,7	7,95	139	70
TDN-16000/110	16	± 9×1,78 %	115	6,5; 11	10,5	85	19	0,7	4,38	86,7	112
TPDN-25000/110	25	± 9×1,78 %	115	6,3/6,3; 6,3/10,5	10,5	120	27	0,7	2,54	55,9	175
TDNJ-25000/110	25	± 9×1,78 %	115	27,5	10,5	120	30	0,7	2,5	55,5	175
TPDN-40000/110	40	± 9×1,78 %	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	172	36	0,65	1,4	34,7	260
TD-40000/110	40	± 2×2,5 %	121	3,15; 6,3; 10,5	10,5	160	50	0,7	1,46	38,4	260

Tip	S _{nom} , MBA	Retlew shegaraları	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar		
			JN	QN	U _q , %	ΔP _q , kVt	ΔP _c , kVt	I _c , %	R _T , Om	X _T , Om	ΔQ _c , kVAR
TPDCN-63000/110	63	± 9×1,78 %	115	6,3/6,5; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	260	59	0,6	0,87	22	410
TPDCN-80000/110	80	± 9×1,78 %	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	310	70	0,6	0,6	17,4	480
TPDCNK-80000/110	80	± 9×1,78 %	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	245	59	0,6	0,8	22	378
TDC-80000/110	80	± 2×2,5 %	121	6,3; 10,5; 13,8	10,5	310	70	0,6	0,71	19,2	480
TPDCN-125000/110	125	± 9×1,78 %	115	10,5/10,5	10,5	400	100	0,55	0,4	11,1	687,5
TDC-125000/110	125	± 2×2,5 %	121	10,5; 13,8	10,5	400	120	0,55	0,4	11,1	687,5
TDC-200000/110	200	± 2×2,5 %	121	13,8; 15,75; 18	10,5	550	170	0,5	0,23	7,7	1000
TDC-250000/110	250	± 2×2,5 %	121	15,75	10,5	640	200	0,5	0,15	6,1	1250
TDC-400000/110	400	± 2×2,5 %	121	20	10,5	900	320	0,45	0,08	3,8	1800

Esletpe: 1. JAR qurılısı tómengi kernew tárepinde bolǵan TMN-2500/110 hám joqarı kernew tárepinde QAJ qurılısı bolǵan TD tipindegi transformatorlardan tısqarı barlıq transformatorlarda kernewdi retlew joqarı kernew oramınıń neytralında jaylasqan JAR qurılısı járdeminde ámelge asırıladı. 2. Tómengi tárepinde nominal kernew 38,5 kV hám 27,5 kV (elektrestirilgen temir jollar ushın) bolǵan TRDN tipindegi transformatorlar ekilemshi oramı parchalanmagan qılıp islep shıǵarılıwı múmkin.

110 kV kernewli úsh fazalı úsh oramlı transformatorlar

Tip	S_{nom} , MBA	Katalog maǵlıwmatları					
		Oramlardıń nominal kernewleri, kV			U_k , %		
		JN	ON	TN	J - O	J - T	O – T
TMTN – 6300/110	6,3	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
TDTN – 10000/ 110	10	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
TDTN –16000/110	16	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
TDTN –25000/110	25	115	11; 38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6
TDTNJ –25000/110	25	115	38,5; 27,5	6,6; 11; 27,5	17	10,5	6
TDTN –40000/110	40	115	11; 22; 38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6
TDTNJ –40000/110	40	115	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6
TDTN –63000/110	63	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
TDCTN –80000/110	80	115	38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6

Tip	Katalog mağlıwmatları			Esaplıq mağlıwmatlar						
	ΔP_q , kVt	ΔP_c , kVt	I_c , %	R_T , Om			X_T , Om			ΔQ_s , kVAR
				J	O	T	J	O	T	
TMTN – 6300/110	58	14	1,2	9,7	9,7	9,7	225,7	0	131,2	75,6
TDTN – 10000/ 110	76	17	1,1	5	5	5	142,2	0	82,7	110
TDTN –16000/110	100	23	1,0	2,6	2,6	2,6	88,9	0	52	160
TDTN –25000/110	140	31	0,7	1,5	1,5	1,5	56,9	0	35,7	175
TDTNJ –25000/110	140	45	0,7	1,5	1,5	1,5	56,9	33	0	250
TDTN –40000/110	200	43	0,6	0,8	0,8	0,8	35,5	0(22,3)	22,3(0)	240
TDTNJ –40000/110	200	63	0,8	0,8	0,8	0,8	35,5	0(20,7)	20,7(0)	320
TDTN –63000/110	290	56	0,7	0,5	0,5	0,5	22,0	0	13,6	441
TDCTN –80000/110	390	82	0,8	0,4	0,4	0,4	17,7	0(10,3)	10,3(0)	640

Esletpe: Joqarı oramında JAR $\pm 8 \times 1,5\%$ qurılmasına iye bolğan TDTNJ-40000 transformatorınan tısqarı barlıq transformatorlar joqarı oramınıñ neytralında JAR $\pm 9 \times 1,78\%$ qurılmasına iye.

220 kV kernewli úsh fazalı eki oramlı transformatorlar

Tip	S _{nom} MBA	Retlew shegaraları	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar		
			Oramlardıń nominal kernewleri, kV		U _q , %	ΔP _q , kVt	ΔP _s , kVt	I _s , %	R _T , Om	X _T , Om	ΔQ _s , kVAR
			JN	TN							
TPDN- 40000/220	40	±8×1,5%	230	11/11; 6,6/6,6	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360
TPDCN-63000/220	63	±8×1,5%	230	6,6/6,6; 11/11	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504
TDC-80000/220	80	±2×2,5%	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,6	2,9	80,5	480
TPDCN-100000/220	100	±8×1,5%	230	11/11; 38,5	12	360	115	0,7	1,9	63,5	700
TDC-125000/220	125	±2×2,5%	242	10,5; 13,8	11	380	135	0,5	1,4	51,5	625
TPDCN-160000/220	160	±8×1,5%	230	11/11; 38,5	12	525	167	0,6	1,08	39,7	960
TDC-200000/220	200	±2×2,5%	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45	0,77	32,2	900

II.6 – tablicaniń dawamı

Tip	S_{nom} MBA	Retlew shegaraları	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar		
			Oramlardıń nominal kernewleri, kV		U_q , %	ΔP_q , kVt	ΔP_s , kVt	I_s , %	R_T , Om	X_T , Om	ΔQ_s , kVAR
			JN	TN							
TDC-250000/220	250	-	242	13,8; 15,75	11	650	240	0,45	0,55	25,7	1125
TDC-400000/220	400	-	242	13,8; 15,75; 20	11	880	330	0,4	0,29	16,1	1600
TC-630000/220	630	-	242	15,75; 18	12, 5	1300	380	0,35	0,17	11,6	2200
TC-1000000/220	1000	-	242	24	11, 5	2200	480	0,35	0,2	6,7	3500

Esletpe: Kernewdi retlew joqarı oramnıń neytralında ámelge asırıladı.

220 kV kernewli úsh fazalı úsh oramlı transformatorlar hám avtotransformatorlar

Tip	S _{nom} , MBA	Retlew shegaraları	Katalog maǵlıwmatları					
			Oramlardıń nominal kernewleri, kV			U _q , %		
			JN	ON	QN	J- O	J - T	O – T
TDTN – 25000/220	25	±12×1%	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5
TDTNJ – 25000/220	25	±8×1,5%	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	20	6,5
TDTN – 40000/ 220	40	±12×1%	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5
TDTNJ – 40000/ 220	40	±8×1,5%	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	22	9,5
ATDCTN –63000/220/110	63	±6×2%	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35,7	21,9
ATDCTN –125000/220/110	125	±6×2%	230	121	6,6; 11; 38,5	11	45	28
ATDCTN –200000/220/110	200	±6×2%	230	121	6,6; 11; 15,75; 38,5	11	32	20
ATDCTN –250000/220/110	250	±6×2%	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8

II.7 – tablicaniń dawamı

Tip	Katalog maǵlıwmatları					Esaplıq maǵlıwmatlar						
	ΔP_q kVt			ΔP_s , kVt	I_s , %	R_T , Om			X_T , Om			ΔQ_s , kVAR
	IO –U	IO –K	U –K			J	O	T	J	O	T	
TDTN –25000/220	135	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
TDTNJ –25000/220	135	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
TDTN-40000/220	220	-	-	55	1,1	3,6	3,6	3,6	165	0	125	440
TDTNJ-40000/220	240	-	-	66	1,1	3,9	3,9	3,9	165	0	125	440
ATDCTN-63000/220/110	215	-	-	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315
ATDCTN-125000/220/110	305	-	-	65	0,5	0,55	0,48	3,2	59,2	0	131	625
ATDCTN-200000/220/110	430	-	-	125	0,5	0,3	0,3	0,6	30,4	0	54,2	1000
ATDCTN-250000/220/110	520	-	-	145	0,5	0,2	0,2	0,4	25,5	0	45,1	1250

Esletpe: 1. Avtotransformatorlar ushın tómengi oramnıń quwatlıǵı nominal quwatlıqtıń 50% ne teń. 2. Kernewdi retlew joqarı oramnıń neytralındaǵı JAR $\pm 8 \times 1,5\%$; $\pm 12 \times 1\%$ yaqı orta oram tárepindegi JAR $\pm 6 \times 2\%$ esabına ámelge asırıladı.

500 kV kernewli úsh fazalı hám bir fazalı avtotransformatorlar

Tip	S _{nom} MB-A	Retlew shegaraları	Katalog maǵlıwmatları					
			Oramlardıń nominal kernewleri, kV			Oramnıń S _{nom} ǵa salıstırǵanda quwatlıǵı, %		
			JN	ON	TN	J	O	T
ATDCTN-250000/500/110	250	± 8×1,4%	500	121	11; 38,5	100	100	40
ATDCTN-500000/500/220	500	± 8×1%, -8×1,25%	500	-	230	100	-	100
AODCTN-167000/500/220	167	± 6×2,1%	500/√3	230/√3	11; 13,8; 15,75 20; 38,5	100	100	30; 40; 50
AODCTN-167000/500/330	167	± 8×1,5%	500/√3	230/√3	10,5; 38,7	100	100	20
AODCTN-267000/500/220	267	± 8×1,4%	500/√3	230/√3	10,5; 15,5; 20,2; 38,6	100	100	25; 30; 45

II.8 – tablicanıń dawamı

Tip	Katalog maǵlıwmatları						Esaplıq maǵlıwmatlar						
	U _q , kVt			ΔP _q , J-O, kVt	ΔP _s , kVt	I _s , %	R _T , Om			X _T , Om			ΔQ _s , kVAR
	J-O	J-T	O-T				J	O	T	J	O	T	
ATDCTN – 250000/500/110	13	33	18,5	640	230	0,45	2,28	0,28	5,22	137,5	0	192,5	1125
ATDCTN – 500000/500/220	11,5	-	-	1050	230	0,3	1,05 0,65	1,05 0,32	- 2,8	57,5	-	-	1500
AODCTN-167000/500/220	11	35	21,5	325	125	0,4	0,58 0,66	0,39 0,31	2,9 2,7	61,1	0	113,5	2004
AODCTN-167000/500/330	9,5	67	61	320	70	0,3	0,48	0,48	2,4	38,8	0	296	1503
AODCTN-267000/500/220	11,5	37	23	490	150	0,35	0,28	0,28	1,12 0,6	39,8	0	75,6	2803

III QOSIMSHA

III.1-tablica

Elektr paydalanıwshılarında kernewdiń ruqsat etilgen awısıwı

Elektr paydalanıwshınıń toǵı hám wazıypası	Kernewdiń eń úlken ruqsat etilgen awısıwı, %	
Elektr motorları	+10	-5
jámáát binaları, sanaat kárxanaları hám sırtqı proyektor qurılmalarınń jarıtıw shıraqları	+5	-2,5
Qalǵan elektr qabıl qılǵıshlar	+5	-5

III.2-tablica

6-110 kV kernewli kondensator batareyaları

Batareyanıń nominal kernewi, $U_{nom.}$, kV	Ornatılǵan quwatlıǵı, MVAR	Kernew túrlishe bolǵanda beriwshi quwatlıǵı, MVAR		Parallel shaqapshalar sanı	Bir shaqapshada izbe-iz jalǵanǵan kond. Sanı	Kondensatorlardıń ulıwma sanı
		$1,1U_{nom}$	U_{nom}			
6	2,9/6	2,4/4,9	2,0/4,1	4	4	48
10	5/10,5	3,8/7,9	3,2/6,5	4	7	84
35	17,3/36	13,5/28	11,2/23,2	4	24	288
110	52/108	44,5/93	36,8/77	4	72	861

Esletpe: Alımında KC2-1,05-60, bóliminde bolsa – KCK2-1,05-125 tipindegi kondensatorlı batareyalar ushın maǵlıwmatlar keltirilgen.

III.3-tablica

Kondensator qurilmalarının tiykargı xarakteristikaları

Qurılmanıń tipi	Nominal kernewi, kV	Quwatlıǵı, kVAR	Salıstırmalı ısıraplar, kVt/kVAR
Ishki qurılma			
KKU-0,38-1	0,38	80	0,0045
KKU-0,38-3	0,38	160	0,0045
KKU-0,38-4	0,38	160	0,0045
KKU-0,38-5	0,38	280	0,0045
KKU-6-1	6	330	0,003
KKU-6-2	6	500	0,003
KKU-10-1	10	330	0,003
KKU-10-2	10	500	0,003
Sırtqı qurılma			
KON-6-2	6	420	0,003
KON-10-2	10	400	0,003

III.4-tablica

Sinxron kompensatorlar

Tip	Nominal kórsetkishler			Ísıraplar, kVt
	S_{nom}, MBA	U_{nom}, kV	I_{nom}, kA	
KC-10000-6	10	6,3; 10,5	0,87	250
KC-16000-6	16	6; 11	-	355
KC-25000-11	25	-	-	370
KC-32000-11	32	-	-	525
KCV-50000-11	50	10,5(11)	2,36	750
KCV-100000-11	100	10,5(11_	5,25	1300
KCV-160000-15	160	15	5,86	1750

