

«ILIMPAZ»

ISBN 978-9910-775-05-5



9 789910 775055 >



I.X.SIDDIKOV,  
A.B.ABUBAKIROV  
A.D.PAXRATDINOV



**QAYTA TIKLENIWSHI  
ENERGIYA DEREKLI ELEKTR  
TÁMINAT SISTEMALARÍ  
REAKTIV QUWATTÍ  
BASQARÍWDÍŃ KÓP FAZALÍ  
BIRLEMSHI TOKLARÍN  
EKILEMSHI KERNEWGE  
ÓZGERTIW DATSHIGINIŃ  
MODELLERI HÁM DÚZILIS  
PRINCIPLERI**

Nókis  
«ILIMPAZ»  
2023 j.

**ÓZBEKSTAN RESPUBLIKASÍ JOQARÍ BILIMLENDIRIW, PÁN HÁM  
INNOVATSIYALAR MINISTRLOGI**

**NAWAYÍ MÁMLEKETLIK KÁNSHILIK HÁM TEXNOLOGIYALAR  
UNIVERSITETI JANÍNDAGÍ NÓKIS KÁNSHILIK INSTITUTÍ**

**I.X.SIDDIKOV, A.B.ABUBAKIROV, A.D.PAXRATDINOV**

**QAYTA TIKLENIWSHI ENERGIYA DEREKLI  
ELEKTR TÁMINAT SISTEMALARÍ REAKTIV  
QUWATTÍ BASQARÍWDÍN KÓP FAZALÍ  
BIRLEMISHI TOKLARÍN EKILEMSHI KERNEWGE  
ÓZGERTIW DATSHIGINIÑ MODELLERI HÁM  
DÚZILIS PRINCIPLERI**

*(Monografiya)*

**Nókis  
«ILIMPAZ»  
2023 j.**

**UOK:**

**I.X.Siddikov, A.B.Abubakirov, A.D.Paxratdinov.**

**KBK:**

*Qayta tikleniwshi energiya derekli elektr táminat sistemaları reaktiv quwattı basqarıwdıń kóp fazalı birlemshi tokların ekilemshi kernewge ózgeriw datshiginiń modelleri hám dúzilis principleri // Monografiya // Nukus, 2023, «ILIMPAZ» baspası, 144 b.*

ISBN 978-9910-775-05-5

Monografiyada qayta tikleniwshi energiya derekli hám oraylıq elektr támiynatı sistemalarında, sanaat kárxanalarında hám de ıssılıq elektr stansiyalarında reaktiv quwattı basqarıwdıń kóp fazalı tokları datshikleriniń modelleri hám dúziliw principleri haqqında maǵlıwmatlar keltirilgen. Monografiya “Oralbo’yi mitaqasida qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanib avtonom ichimlik sho’r suvini tuzsizlantirish texnologiyasını ishlab chiqish” temasındaǵı ilimiy joybar hám 611 T/2-sanlı “Расчет чувствительности преобразователя несимметричного трехфазного тока” atlı xojalıq shártnaması tiykarında jazılǵan. Bul monografiya 60711400 - Texnologiyalıq processler hám islep shıǵarıwdı avtomatlastırıw hám basqarıw, 60710600-Elektr energetikası (tarmaqlar hám jónelisler boyınsha), 60710600-Elektr energetikası (elektr táminatı), 60721900 - Kánshilik elektromexanikası, 60710700 - Elektr texnika, elektr mexanika hám elektr texnologiyaları, 60711300 - Metrologiya standartlastırıw hám ónim sapası menedjmenti hám de 5A310203 - Elektr stansiyaları bakalavr tálim baǵdarları hám magistratura qánigeligi, tayansh doktorantlar ushın arnalǵan.

**Juwapli redaktor:**

**K.M.Reymov** – Qaraqalpoq mámleketlik universiteti, «Elektr energetikası» kaferdası baslıǵı, PhD., dotsent.

**Pikir bildiriwshiler:**

**K.M.Reymov** – Qaraqalpoq mámleketlik universiteti, «Elektr energetikası» kaferdası baslıǵı, PhD., dotsent.

**Q.A.Dauletov** – Nawayı mámleketlik kánshilik hám texnologiyalar universiteti janındaǵı Nókis kánshilik institutı «Kánshilik isi hám óndirislik texnologiyaları» kaferdası baslıǵı, t.i.k. dotsent.

*Nawayı mámleketlik kánshilik hám texnologiyalar universiteti janındaǵı Nókis kánshilik institutı Ilimiy oqıw-metodikalıq keńesiniń qararına muwapıq baspada shıǵarıwǵa ruxsat berildi. (2023 jil 29-noyabr 4–sanlı bayannaması).*

ISBN 978-9910-775-05-5

© I.X.Siddikov, A.B.Abubakirov,  
A.D.Paxratdinov. 2023 j.  
© «ILIMPAZ» baspası, 2023 j.

## KIRISIW

---

Dúnyada elektr támiynatı sistemalarında qayta tikleniwshi energiya dereklerin keń qollaw, bul dereklerdiń mútajligi bolǵan reaktiv quwat hám energiyasın islep shıǵarıw, baqlaw hám basqarıw boyınsha, usınıń menen birge elektr energiyasınıń sapasın jaqsılaytuǵın hám elektr támiynatı sistemasın úzliksiz islewin támiyinlew quralları hám de apparatların jetilistiriwge qaratılǵan qatar izertlewler hám ilimiy izertlew jumısları alıp barılmaqta. Búǵan baylanıslı elektr támiynatı sistemalarınıń isenimli jumıs jaǵdayların, islep shıǵarılıp atırǵan elektr energiyasınıń muǵdarı hám sapasın hám de reaktiv quwat derekleri birlemshi toqların qadaǵalaw hám basqarıwdı támiyinleytuǵın elementler hám de apparatlardı dúzilis principlerin, algoritmlerin hám programmalıq támiynatlarınıń texnikalıq sheshimlerin islep shıǵıw zárúr.

Jáhánde elektr energiya támiynatı sistemalarında birlemshi energiya dereklerin qatań ornatılǵan jumıs jaǵdayın belgileytuǵın, shama hám parametrlerdiń bahaların támiyinleytuǵın, qadaǵalaw hám basqarıw elementleri, quralları hám de apparatların jetilistiriwge úlken itibar qaratılıp atır. Bul jóneliste rawajlangan mámleketlerdiń elektr támiynatı sistemalarında qayta tikleniwsheń energiya derekleriniń qadaǵalawı hám basqarıwı ushın elektr energiyasınıń reaktiv quwatı shama hám parametrleri birlemshi toklar datchikleriniń modellerin islep shıǵıw aktual esaplanıp, olardıń dúziliw principlerin rawajlandırıw, izertlew hám ámeliyatqa engiziw zárúrli áhmiyetke iye boladı.

Respublikamızda elektr energetika salasın jáne de jetilistiriwge, elektr energiya támiynatı sistemalarında energiyasınıń sapa kórsetkishlerin qadaǵalawı hám basqarıwı element hám de apparatların jaratıw hám ámeliyatqa qollawǵa qaratılǵan keń qamtıılǵan ilajlar ámelge asırılıp atır. 2017-2021

jillarda Ózbekstan Respublikasın jáne de rawajlandırıw boyınsha Háreketler strategiyasında, atap aytqanda «... ekonomika, social tarawdıń, ekonomikada energiya hám resurslar sarpın kemeytiw,... óndiriske energiya tejeytuǵın texnologiyalardı keń engiziw»<sup>1</sup> wazıypaları belgilengen. Usı wazıypalardı orınlawda, atap aytqanda qayta tikleniwsheń energiya derekli elektr energiya támiynatı sistemaları tiykarında elektr energiya menen támiyinlewde reaktiv quwat hám energiyanı basqarıwdıń anıqlılıq, operativlik, isenimlilik kórsetkishlerin támiyinlew talap etiledi. Usınıń menen birge qadaǵalaw hám basqarıw maǵlıwmatın jetkizip beretuǵın birlenshi datchiklerdiń islew principleri, algoritmleri, programmalıq támiynatı hám quralların islep shıǵıw zárúrli máselelerden biri esaplanadı.

Ózbekstan Respublikası Prezidentiniń 2017-jıl 23-avgustdaǵı PQ-3238-sanlı «Zamanagóy energiya nátiyjeli hám energiya tejewshi texnologiyalardı jánede ámelge engiziw operativ ilajları tuwrısında»ǵı, Ózbekstan Respublikasınıń 2019-jıl 21-maydaǵı ÓRQ-539 -san «Qayta tikleniwshi energiya dereklerineng paydalanıw tuwrısında»ǵı Nızamı, Ózbekstan Respublikası Prezidentiniń 2017- jıl 26-maydaǵı PQ-3012-san «2017-2021 jillarda qayta tikleniwshi energetikanı jáne de rawajlandırıw, ekonomika tarmaqları jáne social tarawda energiya nátiyjeligin asırıw ilajları programması tuwrısında» hám 2019-jıl 22-avgustdaǵı PQ-4422-san «Ekonomika tarmaqları jáne social tarawdıń energiya nátiyjeligin asırıw, energiya tejewshi texnologiyalardı engiziw hám qayta tikleniwshi energiya dereklerin rawajlandırıwdıń operativ ilajları tuwrısında»ǵı Qararları hám de usı iskerlikke tiyisli normativlik-huqıqiy hújjetler belgilengen wazıypalardı ámelge asırıwda bul monografiya arnawlı bir dárejede xizmet etedi.

---

<sup>1</sup> Ózbekstan Respublikası Prezidentiniń 2017 jıl 7 fevralındaǵı PF-4947-san «Ózbekstan Respublikasın jáne de rawajlandırıwdıń Háreketler strategiyası tuwrısında»ǵı Pármanı

# I BAP. QAYTA TIKLENIWSHEŃ ENERGIYA DEREKLI ELEKTR TÁMIYNATÍ SISTEMALARÍNDÁ REAKTIV QUWAT KOMPENSATSIYASI HÁM ONI ISLEP SHIGÁRIWDIŃ ANALÍZLERÍ

---

## *1.1. Qayta tikleniwsheń energiya derekli elektr támiynat sistemalarında reaktiv quwat kompensatsiyası analizi*

Qayta tikleniwsheń energiya derekli (QTED) elektr támiynat sistemalarında (ETS) elektr energiya uzatıw tarmaqları hám tutınıwshı júklemeleriniń aktiv qarsılıǵı menen birgelikte induktiv hám sıyımlılıq qarsılıqları da ámeldegi boladı. Induktiv tok tutınıwınıń apparatları reaktiv quwat (energiya ) qabıl etiwshiler dep, sıyımlılıq tok tutınıwınıń apparatları bolsa reaktiv quwat (energiya ) deregi dep ataladı.

ETS reaktiv quwat tutınıwshılarınıń quramın analiz qılıw sonı kórsetedi, tiykarǵı reaktiv quwat tutınıwshıları bes qıylı kórinistegi apparatlardı quraydı:

- asinxron dvigateller 40%,
- elektr isitqishlar 8%,
- ventilli ózgerkishler 10%,
- transformatorlar 35%,
- elektr uzatıw tarmaqları (olarda israplar) 7% quraydı.

ETS elektr energiya uzatıw tarmaǵına  $U = U_m \sin \omega t$  kernew berilgende aktiv hám induktiv júklemede tok kernewden  $\varphi$  múyeshke jılıyadı hám odan arqada qaladı:

$$I_n = I_m \sin(\omega t - \varphi). \quad (1.1)$$

ETSlarda elektr energiya tutınıwshıları jumıs jaǵdaylarına baylanıslı túrde de aktiv hám reaktiv quwat (energiya ) tutınıladı bunda:

Aktiv quwat tómendegishe aniqlanadı:

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R. \quad (1.2)$$

Reaktiv quwat tómendegishe aniqlanadi:

$$Q = UI \sin \varphi = Pt g \varphi. \quad (1.3)$$

Quwat koeffitsiyenti tómendegishe aniqlanadi:

$$\cos \varphi = \frac{P_t}{Q_t} = \frac{P_t}{\sqrt{P_t^2 + Q_t^2}}, \quad (1.4)$$

bul jerde  $P_t$ ,  $Q_t$ ,  $S_t$ , – mas rawishte ańli waqıt ishindegi aktiv, reaktiv hám toliq quwatlar (kVt, kVar, kVA).

Islep shıǵarıw kárxanalarında aktiv, reaktiv quwatlar tekǵana aralıq waqıt múddetinde bálki óndiristiń hár bir jaǵdayında ózgerip turadı.

Reaktiv quwat koeffitsiyenti  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_t}{P_t}$  aktiv quwat turiniwshilarında reaktiv quwat ulesin anıq kórsetiwshi koeffitsiyent bolip esaplanadi.

Aktiv hám reaktiv quwatlar koeffitsiyentleri arasındaqı munasábet tómendegishe aniqlanadi:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}. \quad (1.5)$$

Elektr energiya tutınıwshıları tutınatuǵın aktiv quwatı paydalı jumıs atqaradı hám yaǵnıy elektr energiyanı basqa tur paydalı energiyaǵa: mexanik, ıssılıq, jaqtılıq, ximiyalıq, qısılǵan hawa energiyası hám gazǵa ózgeritiredi.

Reaktiv quwat elektr energiya qabıl etiwshi apparatlarda elektrmotor, transformator hám elektr energiya uzatıw tarmaqlarında paydalı jumıs atqarmastán elektromagnit maydan (magnit aǵıs) payda bolıwına sarplanadı.

Aktiv quwatıń reaktiv quwatqa uqsaslıǵı onıń analitik ańlatpası uqsaslıǵınan kelip shıǵadı, hámde elektr energiya qabıl etiwshi apparatlar tekǵana aktiv quwatı, bálki reaktiv quwatı da tutınadi, elektr energiyanı uzatıw hám qabıllawda bir birinen ajralmaǵan túrde magnit hám elektr maydanlardı payda etiwde, kernewge reaktiv hám aktiv quwatlardı baylanıslılıǵı hám jiylikni

statikalıq xarakteristikasına muwapıqlıǵınan, aktiv hám reaktiv quwatları elektr energiya uzatıw tarmaqlarında joytıwdan hám bir jola reaktiv hám aktiv quwattı ólshewden ibarat boladı.

Sinusoidal tok shıńırları reaktiv quwattı esaplaw jaǵdayları ushın ámeliyatda keń qollanıwshı eń maqul túsetuǵın xarakteristikası esaplanadı. Aktiv hám reaktiv quwattı jaratıw hám tutınıwshı kózqarasınan kórgenimizde olar arasındaqı úlken parq bar. Eger aktiv quwattı úlken bólegi elektr apparatlardan tutınıp bir neshe kishi ma`nisi tarmaq elementlerinde joǵalsa, reaktiv quwattı tarmaq elementlerinde joǵalıp ketiwi reaktiv quwattı ólshep bolmaytın kórinisinde kórinetuǵın boladı. Energiya tarmaǵındaǵı 100% reaktiv quwatınıń 22% elektrostantsiyalardı kúsheytiw transformatorlarında hám energiya tarmaǵın 110 -750 kV li podstantsiyalardaqı kernewdi asırıwshı avtotransformatorlarda, 6, 5% rayon elektr tarmaqlarında, 13, 5% kernew paseytiriwshı transformatorları hám 58% bolsa 6 -10 kV shinalarındaǵı tutınıwshılardıń reaktiv quwat joǵalıp ketiwi quraydı. Elektr tarmaqtıń aktiv quwatı birden-bir bolǵan aktiv quwat dereǵı bolıw elektr stanciyalardaqı generatorlarda támiyinlenedi. Generator islep shıǵarıp atırǵan tolıq quwat, aktiv hám reaktiv qurawshılardan ibarat boladı.

ETSlar elektrostantsiyalardaqı sinxron generatorlar basqa túrdegi reaktiv quwat derekleri menen zamanagóy elektr tarmaqlarında reaktiv quwattı teń salmaqlılıǵın támiyinleydi. Generator nominal rejiminde nominal aktiv quwattı tómenlewi reaktiv quwattı nominaldan asıp ketiwi sebep bolıwı múmkin. Júklemenıń kishi aktiv quwat tutınıwı reaktiv quwattı nominal ma`nisinen keskin asıp ketiwine sebep boladı. Bul halda generatordıń aktiv júklemesin ustap turıwshı qandayda bir bólegin quwat koeffitsentin túsiriw jumıs rejimine ótkeriledi. Úlken bolmaǵan júkleme rejimindegi jaratıp atırǵan reaktiv quwattı



asırıwda aktiv quwattı kemeytiw esabına ámelge asırıw ekonomikalıq tárepten uyqas kelmeydi.

Elektr energiyanı uzaq aralıqqa uzatıwda reaktiv quwat ETSniń barlıq elementlerinde payda boladı jáne bul olardıń reaktiv quwati menen júkleniwi arqalı túsiniledi. ETSniń aktiv R qarsılıǵı arqalı aktiv P hám reaktiv Q quwati uzatılıwında aktiv quwat joytıw tómendegishe boladı:

$$\Delta P = \frac{P^2+Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p. \quad (1.6)$$

Bunnan kórinip turıptı, olda, ETSlarda reaktiv quwat aǵıwı arqalı aktiv quwattı qosımsha ısırapı  $\Delta P_p$  onıń kvadratına proporsional boladı.

Reaktiv quwattı ETS elektr tarmaqlarınan oqib ótiwi qosımsha kernew ısırapın júzege keltiredi. Aktiv qarsılıq R hám reaktiv qarsılıq X ga iye ETS elektr energiyası uzatıw tarmaqları arqalı aktiv quwat R hám reaktiv quwat Q uzatıwda kernew joytıw tómendegishe anıqlanadı:

$$\Delta U = \frac{PR+QR}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QP}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p, \quad (1.7)$$

bul jerde  $\Delta U_a$  - kernew ısırapınıń aktiv quwattı ısırapı menen belgileniwshi qurawshısı;  $\Delta U_p$  - kernew ısırapınıń reaktiv quwat ısırapı menen belgileniwshi qurawshısı.

ETSniń elektr energiya qabıl etiwshi apparatlarındaǵı kernew joǵatılıwı onıń iyiwine hám de uyqas túrde kernewdi basqarıw quralların muǵdarın hám túrlerin asıwına alıp keledi.

Joqarıda keltirip ótilgen maǵlıwmatlardan usıdan ayqın boladı, QTEDli ETSlarda reaktiv quwat deregin tutınıwshıdıń janında paydalanıw elektr energiya uzatıw tarmaqlarında quwat, energiya kernew joǵalıp ketiwin azaytadı hám de ETSn texnikalıq-ekonomikalıq kórsetkishlerdi jaqsılawda eń nátiyjeli sheshim esaplanadı.

## ***1.2. Qayta tikleniwshen energiya derekli elektr támiynatı sistemalarında reaktiv quwattı islep shıǵarıw hám basqarıw***

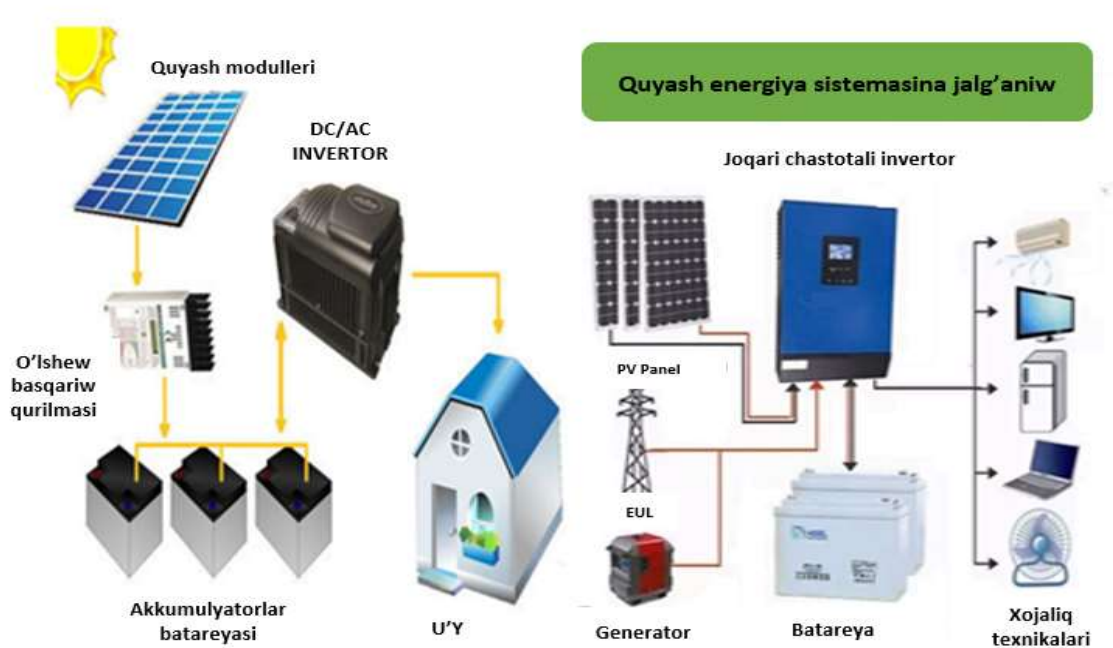
Házirgi waqıtta jańa túrdegi QTEDli ETSlar ámeliyatqa keń engizilip atırǵan bolıp, bunda QTEDlerde elektr energiyanı payda etiw hám ózǵertiw, energiya derekleri islep shıǵarip atırǵan elektr shamalardı ózǵertiw apparatları hám datchikleri arqalı qadaǵalaw hám basqarıwdı ámelge asırılıwına úlken áhmiyet berilmekte. ETS energiya derekлерinen bolǵan QTEDlarda energiyanı ózǵertiw sistemaların sapalı hám isenimli qadaǵalaw hám basqarıw signalları menen támiyinleytuǵın datchiklerdi óz ishine aladı. Qadaǵalaw hám basqarıw sistemaların, ólshew ásbapları hám apparatların signal menen támiyinlew boyınsha strukturalıq bólim esaplanǵan datchikler elektr támiynatı derekleriniń islew úzliksizligin, isenimliligini hám basqa bir qatar texnikalıq hám ekonomikalıq kórsetkishlerdi belgileydi.

Óndiriste ETS sapa kórsetkishleriniń qadaǵalaw hám basqarıwında tiykarǵı máselelerden bolǵan úzliksizlik, isenimlilik, operativlik hám signal ózǵertiwdiń anıqlıǵı máseleleri aktuallıǵısha qalıp atır. Házirgi waqıtta elektr energiyanıń tiykarǵı tutınıwshılarınan bolǵan kommunal tutınıwshılar tárepinen tutınılıp atırǵan elektr energiyanıń jıllıq kólemi 11,5-12,0 mlrd. kVt. s ni quraydı. Bul tur elektr energiya tutınıwshılarınıń ulıwma sanı 6,5 millionnan artıq bolıp, sonnan 2,5 millionnan artıq tutınıwshılar qalalarda (jıllıq tutınıwı 5,5-6,0 mlrd. kVt. s) hám 4,0 millionnan artıq elektr energiya tutınıwshıları awıllıq jerlerde (jıllıq tutınıwı 6,5-7,0 mlrd. kVt. s) ti quraydı.

Izertlewler kórsetedi, elektr energiya islep shıǵarıw, uzatıw, bólistiriw hám tutınıwı qatar máselelerin qayta tikleniwshen energiya (quyash, samal, gidroenergetika hám basqalar) hám de arnawlı reaktiv quwat derekлерinen paydalanǵan halda sheshiw múmkin.

ETSlarında qayta tikleniwsheń energiya hám reaktiv quwat dereklerin kompleks engiziwdiń principiik sxeması 1.1- suwretde kórsetilgen.

Respublika wálayatlarınń ayrim aymaqlarında (4,0 millionnan artıq tutınıwshılar QTEDlerdi engiziwge ketetuǵın ğárezetlerin esaplaǵanda 1 kVtli quwatqa iye QTED ornatiw 8,2 mln. suwmdi, bir tutınıwshınıń ortasha quwatı 2 kVt. s. bolsa, ol jaǵdayda ol 16,4 mln. swmdi, 4,0 mln. nan artıq elektr energiya tutınıwshı ushın bolsa 64 trln. swm yamasa 7,8 mlrd. ol. ye. ni quraydı. Bul kórsetkish elektr energiya islep shıǵarıw quwatın únemlep atır muǵdarı 8000 MVtǵa teń bolǵan aktiv quwattı quraydı.



### 1.1-Súwret. ETSlarında qayta tikleniwsheń energiya hám reaktiv quwat dereklerin kompleks engiziwdiń principiyl sxeması

Joqarıda keltirilgen maǵlıwmatlarǵa qosımsha túrde QTEDli ETStiń tómendegi **abzallıqların** da itibarǵa alıw kerek:

- Qurılıs ushın úlken maydanlarǵa mútajlik kemligi;
- Podstanciyallar, elektr uzatıw liniyalari hám basqa úlken ólshemli elektr úskenelerdi qurıwǵa mútajlik kemligi;

- Xizmet kórsetiw gárejetleri kemligi (elektr apparatlarǵa texnikalıq xizmet kórsetiw, panellerdi tazalaw hám basqalar);

- Elektr energiya ısırapı kamligi;

- Tutınıwshılardı úzliksiz elektr energiya menen támiyinlewliligi;

- Tutınıwshılardı jazda yamasa kúnniń eń joqarı energiya tutınıwı dáwirinde oraylasqan elektr tarmaqlarınan úziw múmkinshiligi bar ekenligi;

- Tábiy gaz hám basqa energiya derekleriniń puxtalıǵı (jılına 2, 7 mlrd. kub. m. tábiy gaz yamasa jılına 402, 0 mln. ol. ye.);

- Energiya sarpın kemeytiw esabına elektr energiyanı islep shıǵarıw ushın anıq tutınıwdı qısqartırılıwi;

- Elektr energiyanı jıynaw múmkinshiligi jaratılıwı;

- Qayta tiklenetuǵın energiya úskenelerin ornatiw hám olarǵa xizmet kórsetiw ushın kishi kárxanalar jaratılıwı;

- Atmosferaǵa zıyanlı shıǵındılardı shıǵarıwdıń kemligi.

QTEDlerniń ámeldegi ayırıqsha **kemshilikleri:**

- Turaqlı tok óndiriwshi QTED elektr energiyasınıń reaktiv quwatı quraytuǵının islep shıǵarmaydı;

- QTED qollanılǵan elektr támiynatı sistemalarında kernewdi retlew múmkinshiligi sheklengen (tiykarınan oraylasqan elektr támiynatı derekleri arqalı ámelge asırıladı);

- Elektr energiyası ushın arzan tariyp hám ózin oraw múddeti uzaq;

- QTEDli elektr támiynatı apparatların individual ornatiwda (bir abonenttiń aylıq kóleminde elektr energiya tutınıwı esapqa alıńanda) apparatlardıń ózin qaplaw múddeti júdá úlken.

Bul kemshiliklerden tiykarǵısı retinde QTEDleriniń reaktiv quwat islep shıǵarmaslıǵı itibarǵa alınadı jáne onı saplastırıw tekǵana xojalıq texnikalardıń, bálki barlıq elektr úskenelerdiń jumıs sharayatların jaqsılawǵa alıp keledi, yaǵnıy elektr támiynatı sistemasında reaktiv quwattı kompensatsiyalaw hám elektr

támiynatı kernewin retlew tiykarında elektr energiyanıń sapa kórsetkishleri jaqsılanadı.

QTEDli ETSlar ushın reaktiv quwattı kompensatsiyalaw úlken áhmiyetke iye bolıp, olar elektr támiynatı sistemasınıń paydalı jumıs koefficiyentiniń asırıw, sistemaniń ekonomikalıq hám sapa kórsetkishlerin jaqsılawda tiykarǵı faktorlardan biri esaplanadı. Házirgi waqıtta reaktiv quwat tutınıwınıń ósiwi aktiv quwat tutınıwınıń ósiwinen talay joqarı bolıp, ayırım kárxanalarda reaktiv júkleme aktiv júklemege salıstırǵanda 130% ni quraydı. Reaktiv quwattı elektr uzatıw tarmaqları boylap uzaq aralıqqa uzatıw elektr támiynatı sistemasınıń texnikalıq-iktisodiy kórsetkishlerin jamanlasıwına alıp keledi.

ETSlarında aktiv quwat tiykarınan oraylasqan elektr támiynatı (OET) generatorları hám QTEDler tárepinen islep shiǵılsa, reaktiv quwat bolsa kosinusli kondensatorlar batareyaları, stanciyaniń generatorları, sinxron kompensatorlar, sinxron juritkishler, liniyalar, tiristorli reaktiv quwat derekter tárepinen generatsiya kilinadi.

ETSın proektlestiriw processinde reaktiv quwat koefficiyentiniń kórsetkishlerin jaqsılaw maqsetke muwapıq bolıp tabıladı. Tutınıwshıdıń reaktiv quwat koefficiyenti muǵdarın elektr támiynatı sisteması texnikalıq - ekonomikalıq kórsetkishleri belgileydi, sebebi reaktiv quwattı kompensatsiyalaw máselesi tuwrı sheshiw tiykarında tutınıwshılar, elektr energiya uzatıw tarmaqları, elektr energiyanı taratıwshı apparatlar, transformatorlar, generatorlar hám basqarıw hám qadaǵalaw datchiklerin óz ishine alǵan ETS jumısınıń natiyjeliligi támiyinlenedi.

QTEDli ETSlarında reaktiv quwattı elektr energiya uzatıw tarmaqları hám transformatorlar arqalı uzatıw elektr energiyanıń qosımsha israpgershiligine, kernew joǵatuwin asıwına hám sistemaǵa ketetuǵın gárejetlerdi artıwına alıp keledi.

1. Elektr energiya uzatıw tarmaqları hám transformatorlardan reaktiv quwat aǵıwı nátiyjesinde qosımsha aktiv quwat hám energiya israpkershiligi júz beredi. Eger R qarsılıqǵa iye bulgan liniya arqalı R - aktiv hám Q - reaktiv quwatlar aǵıp ótse, aktiv quwat israbi tómendegishe esaplanadi:

$$\Delta P = I^2 R = \left(\frac{S}{U}\right)^2 R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + P_p. \quad (1.8)$$

Elektr energiyasınıń reaktiv quwatın ETS elektr energiya uzatıw tarmaqlarınıń, transformatorı arqalı uzatıwı nátiyjesinde qosımsha aktiv quwat israbi ( $\Delta P_p = \frac{Q^2}{U^2} R$ ) júz berip, onıń ma`nisi Q - reaktiv quwatıń kvadratına tuwrı proporsional bolıp tabıladı. Bul tiykarda juwmaq qılıw múmkin, elektr stanciyalar generatorlarınan tutınıwshılarga deyin reaktiv quwat uzatıw maqsetke muwapıq emes.

2. R - aktiv hám X - reaktiv qarsılıqları bolǵan ETS elementlerinen (transformator, liniya hám t.b) R hám Q quwatlı elektr energiya uzatılǵanda, kernewdiń joǵalıp ketiwi tómendegishe anıqlanadı:

$$\Delta U = IR \cos \phi + IX \sin \phi = \frac{UI \cos \phi}{U} R + \frac{UI \sin \phi}{U} X = \frac{P}{U} R + \frac{Q}{U} R = \Delta U_a + \Delta U_p \quad (1.9)$$

bul jerde  $\Delta U_a$  - aktiv quwat uzatılıwı menen baylanıslı bolǵan kernewdiń joǵatılıwı;  $\Delta U_r$  - reaktiv quwatı uzatılıwı menen baylanıslı bolǵan kernewdiń joǵatılıwı.

Reaktiv quwatı elektr energiya uzatıw tarmaqlarınan uzatılıwı nátiyjesinde ETS elementlerinde qosımsha kernew joǵatılıwı ( $\Delta U_p = Q_X/O_l$ ) júz berip, onıń kólemi reaktiv quwat Q hám qarsılıq X ge tuwrı proporsional bolıp tabıladı.

3. QTEDli ETSiniń úlken muǵdarda reaktiv quwat menen júkleniwi hawa hám kabel elektr energiya uzatıw tarmaqlarınıń

kese kesim ústlerin úlken bolıwına hám transformatorlardıń quwatların úlken etip tańlanıwına alıp keledi. Sonı aytıw kerek, elektr energiya uzatıw tarmaqlarınıń sımları kese kesim ústleri hám transformatorlardıń quwatları  $I_x$  - esaplıq tok hám  $S_x$  - tolıq quwat boyınsha qabıl etiledi:

$$S_x^2 = P_x^2 + Q_x^2, \quad (1.10)$$

$$I_x^2 = \frac{P_x^2}{U_x^2} + \frac{Q_x^2}{U_x^2}. \quad (1.11)$$

Juwmaq etip aytqanda,  $S_x$  hám  $I_x$  bahalardı  $Q$  dıń esabına qosımsha artadı hám bunıń nátiyjesinde elektr támiynatı elementinen aǵıp ótip atırǵan reaktiv quwat ETS elementleriniń ótkeriw qábiletin azaytadı.

Keltirilgen juwmaqlardan usıdan ayqın boladı, reaktiv quwattı QTEDli ETS elementlerinen aǵıp ótiwin qadaǵalaw hám basqarıw boyınsha ilaj - ilajlar islep shıǵıw hám olardı ámelge asırıw shárt. Onıń ushın QTEDlerniń ETSlarıdaǵı qásiyetlerin tolıq analiz etiw talap etiledi.

**Quyash energiya támiynat derekli ETS.** Quyash energiya támiynatı deregi quyashdan kiyatırǵan jaqtılıq energiyasın elektr energiyasına ózgeritedi. Quyash energiya támiynat derekli tárepinen islep shıǵılǵan energiya elektr támiynatı apparatların energiya menen támiyinlew menen bir qatarda akkumulyator batareyaların da zaryadlaydı. Ólshew, qadaǵalaw hám basqarıw apparatı járdeminde akkumulyatordıń zaryad hám razryad processleri qadaǵalanıp turıladı.

Ózgermeli tok tutınılǵan elektr támiynatı apparatları invertor arqalı hám turaqlı tok tutınatuǵın apparatlar tuwrıdan-tuwrı akkumulyator batareyalarına jalǵanadı.

Házirgi kúnde quyash energiyası datchikli QTEDli ETSlarda On-grid, Off-grid hám Hybrid jaǵdaylarda isleytuǵın energiya támiynatı derekleri keń qollanıp kelinip atır.

QTEDli ETSniń reaktiv quwat dereklerin jalǵanıwı, olardıń natiyjeliligin qadaǵalaw hám basqarıw signal datchiklerin Cloud computiung texnologiyası boyınsha ornatılıwı 1.2-suwretde keltirilgen.

**Samal energiya támiynat derekli ETS.** Geografiyalıq jaylasıw hám atmosferanıń jer ústi qatlamında bolıp ótetuǵın quramalı klimot processleri sebepli samal energiyası máwsimli xarakterge iye esaplanadı. Samal aǵımınıń ortasha salıstırma quwatı 84,0 Vt/m<sup>2</sup> ge teń, bolıp bul kórsetkish Andijan wálayatında 20,0 Vt/m<sup>2</sup> tan Nawayı wálayatında 104,0 Vt/m<sup>2</sup> ge shekem ózgeredi.

Avtonom samal energiya támiynatı derekli QTEDin jalǵanıw sxeması 1.2 - suwretde keltirilgen. Samal energiya támiynatı dereklerin aralas hám de avtonom formada ETSda paydalanılıwı múmkin.

Izertlew nátiyjeleri kórsetildi, jıldıń yanvar, fevral, mart, aprel hám de oktyabr, noyabr hám dekabr aylarında qalǵan aylarǵa salıstırǵanda samal energiya támiynatı dereklerin paydalanıw nátiyjeli esaplanıp, jıldıń qalǵan aylarında úzliksiz energiya menen támiyinlewde basqa aylarǵa salıstırǵanda 2-3 ret kóbirek samal energiya támiynatı dereklerin isletiwdi talap etedi.

Jáhánde hámde respublikamızda QTEDlerden On-grid (QTEDlerdi oraylasqan energiya támiynatı sisteması menen birgelikte islewi), Off-grid (QTEDlerden avtonom halda paydalanıw) hám Hybrid (bir qansha QTEDlerden gibrid (aralas)) halda paydalanıw máselelerin sheshiwge úlken kólem degi izertlewler alıp barılmaqta.

Bul óz gezeginde QTEDler menen oraylasqan energiya támiynatı dereklerin shıǵıw parametrlerin izertlew, avtonom fotoelektrik apparatlardı úzliksiz islewin aralıqlı hám lokal monitorıń qılıwdı matematikalıq hám programmalıq támiynatı

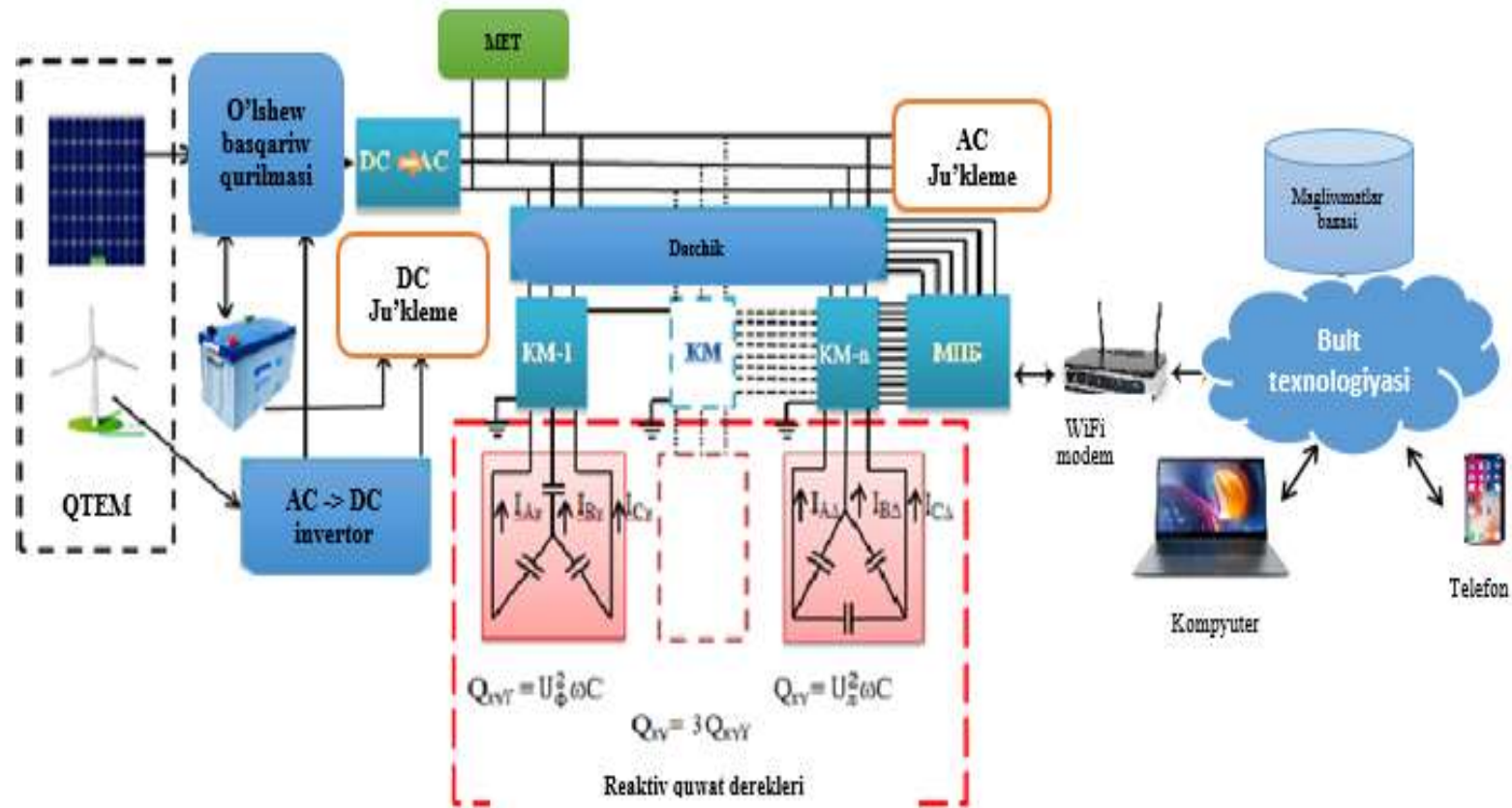


hám de oraylasqan energiya támiynatı menen integraciyası qadaǵalawın islep shıǵıwdı talap etedi.

Bunnan tısqarı islep shıǵarılıp atırǵan elektr energiyanı ózgeriwi, oraylasqan energiya tarmaqta jalǵanǵan hám jalǵanbaǵan jaǵdaylarda kayta tikleniwshen energiya dereklerinen qollaw, energetikalıq apparatlardı xarakteristikaların jaqsılaw, olardı f.i.k. lerin asırıw, olardı jumıs jaǵdayların turaqlı túrde baqlaw, shıǵıw shama hám parametrleri bahaları ózgergende olardı zamanagóy programmalıq hám aparat majmaular tiykarında avtomatikalıq túrde retlew arqalı energiya natiyjeliligin asırıw talap etiledi. Onıń ushın qayta tikleniwshi energiya derekleri tiykarındaǵı energiya támiynatı sisteması shama hám parametrlerin izertlew programmalıq támiynatı hám simulyatsion stendin tájiriylilik úlgisin jaratıw talap etiledi.

Izertlew programmalıq támiynatı hám modelin islep shıǵıwdan gózlengen maqset, qayta tikleniwshi energiya derekleri oraylasqan energiya támiynatı menen integraciyasın jetilistiriw, energetikalıq apparatlardıń natiyjeliligin asırıw, energetikalıq shama hám parametrleri, islep shıǵarılıp atırǵan energiya muǵdarı hám jaǵdayı, apparatlardıń f.i.k. ti úzliksiz túrde aralıqlı hám lokal baqlaw, basqarıw sistemasın jańa programmalıq qurallar hám texnika hám texnologiyalar tiykarında jetilistiriw hám monitorıń sistemasın jaratıwdan ibarat esaplanadi.

**QTED hám reaktiv quwat derekli energiya támiynatı sistemasınıń dúzilw sxeması hám signal datchiklerin ornatiliwiniń ayırıqsha qásiyetleri.** Turaqlı hám ózgermeli tok energiyasınıń uzluksizligin támiyinlewde QTEDli ETS apparatlarında tiykarǵı element esaplanǵan akkumulyator batareyaların bolıwı zárúrshiligi ámeldegi.



## 1.2-súwret. QTEDli ETSniń reaktiv quwat dereklerin jalǵanıwı, olardıń natıyjeliligin qadaǵalaw hám basqarıw signal datchiklerin Cloud computing texnologiyası boyınsha ornatılıwı

Bul jerde DC→AC turaqlı júzimdi ózgermeli júzimge ózertiriwshi apparat; DC júkleme - apparatların turaqlı tok júklemesi; AC → DC ózgermeli júzimdi turaqlı júzimge ózertiriwshi apparat; MET- oraylasqan elektr támiynatı; KM-1, KM-n- kontaktorlar; MPB-mikroprotssessorli basqarıw; AC júkleme - ózgermeli tok júklemesi; modem, tarmaqlar, serverler, malumotlar bazası, qosımshalar hám servisler

Házirgi waqıtta energiya támiynatı boyınsha juwapkerligi joqarı bolğan elektr támiynatlı ob'ektlerde invertorlar sisteması menen úskenelestirilgen turaqlı tok apparatları keń qollanıladı. Invertorlar sisteması quramına kernewi sinusoidalğa jaqın forma dağı bir fazalı ózgermeli júzimdi islep shıǵaratuǵın invertorlar, invertorlar sistemasına xizmet kórsetiw baypasi hám bólistiriw apparatı kiredi.

Qadaǵalaw hám basqarıwdıń signal datchikleri zárúrli qurallardan bolıp, olar ETS kernewin jetkilikli reaktiv kuwat islep shıǵıw tiykarında ETSın quwat boyınsha óz-ara sinxronlawdı támiyinleydi, yarım ótkeriwshili apparatları islep shıqqan joqarı garmonika tokların filtrlew hám reaktiv quwattı úzliksiz túrde elektr uzatıw tarmaǵına ótkeriwdi támiyinlewdi qadaǵalaw hám basqarıw imkaniyatın beredi.

ETStiń joqarı isenimliliği zárúr akkumulyatorlar rezerviniń qollanılıwı, elementlerdiń isenimliliği hám de reaktiv quwat derekleriniń kóp sanlı modulları hám olardı “operativ” jalǵanıwı hám almastırılıwı esabına támiyinlenedi.

### ***1.3. Elektr tamiyinati sistemalari reaktiv quwattı kompensatciyalawshı usılları hám qurilmalardi izertlew***

Házirgi tez rawajlanıp baratırǵan mámleketimizdiń tiykarǵı máselelerinen biri bul hár bir tur energiyadan, ásirese elektr energiyasınan aqılǵa say paydalanıw hám elektr apparatlarınan nátiyjeli paydalanıwdı shólkemlestiriw bolıp tabıladı. Elektr energiya ayırıqsha ónim bolıp tabıladı. Elektr energiya tutınıwshılarına tásir etiwshi túrli faktorlardan elektr energiya sapası kelip shıǵadı. Keyingi jıllar dawamında elektr energiya sapasın asırıwǵa hám tutınıwshılar elektr ergiyasınan nátiyjeli paydalanıwdı shólkemlestiriwge ulken itibar berilip atır. Elektr energiya sapasın asırıwǵa ekonomikalıq, matematikalıq hám texnikalıq kózqarastan qaralıp atır.

Ekonomikalıq kózqarastan elektr tamiynat tarmaqların sapasız elektr energiyadan paydalanıwınıń aldın alıw usılların esaplawdı óz ishine aladı.

Matematikalıq kózqarastan elektr energiya sapasın ol yamasa bul usılda óshiriwdi esaplaw tiykarların kórsetip beraladı.

Texnikalıq kózqaras texnikalıq qurallar hám elektr energiya sapasın jaqsılaw ilajların, hámde basqarıw hám qadaǵalawdı shólkemlestiriw tarmaǵın óz ishine aladı.

Elektr energiya sapasın asırıwǵa proektlestiriw hám tutınıwshı shólkemlestiriwshiler tájribesine tiykarlanıp, ámeldegi qosımsha apparatlardı qollaw yamasa táminlew tarmaǵın jaqsılaw arqalı ámelge asırıw múmkin.

Zamanagóy elektr energiya kárxanalarında islep shıǵarıwdı asırıwǵa umtılwı hám texnologik processlerdiń quramalılasıwı reaktiv energiyanı ulken muǵdarda tutınıwshı tez ózgeriwshi hám sızıqlı emes júklemeli reaktiv energiya tutınıwshılardıń asıp ketiwine alıp keldi. Bunda ventilli ózgartkish qollaniliwshi temir jol elektr taminat sistemasında, qara hám reńli metallurgiya kárxanalarında, ximiyalıq islep shıǵarıw kárxanaları kiredi. Bul tutınıwshılar jumıs tiykarın olar támiyinlep atırǵan elektr tarmaǵın elektr energiya tásir sapasına baylanıslı.

Sonıda aytiwimiz kerek elektr tutınıwshılar ortasha jumıs aktivligi elektr energiya sapasına tiykarlanadı.

Taminlew tarmaǵı hám elektr apparatları óz-ara bunday baylanıshılıǵı “Elektromagnit uyqashlıq” deb ataladı.

Elektr tutınıwshılar hám taminlew tarmaqları elektromagnit sáykesligi máseleleri keyingi waqıtlarda kúshli ventilli ózgartkishleri, kepserlew apparatların qollanıwdaǵı texnologik effekti elektr energiya taminlew tarmaqların sapasına unamsız tasir kórsetip atır.

Jańa elektr energiya tutınıwshılar jaratıwda olardı elektr energiya taminat tarmaqlarına keri tasirin esapqa alǵan jaǵdayda

jaratıw zárúr bolıp tabıladı. Elektr energiyanı kerekli sapa kórsetkishlerin elektr taminatı kárxanalardı joybarlastırılıp atırǵanda esapqa alıw kerek.

Elektr taminat kárxanaların joybarlastırıw processsinde, elektr tarmaqlarındaǵı elektr energiyanıń sapasın asırıw tiykarǵı faktorlarınan biri bolıwı, usınıń menen birge elektr tarmaqlarındaǵı reaktiv quwat kompensatsiyasin, óz ishine túrli energiya tutınıwshılarına iye bolǵan quwattı retlew jáne onı esaplaw, elektr taminat tarmaqlarında reaktiv quwattı kompensatsiyalawdı eń maqul túsetuǵın jolin tańlawda bul bir neshe kompleks sorawlardı ortaǵa qoyadı.

Elektr tarmaqlarında reaktiv quwattı kompensatsiyalaw mashqalası qozǵalıwına avtomobil islep shıǵarıwshı kárxanalarda aktiv quwatqa salıstırǵanda reaktiv quwat tutınıwınıń asıp barıwı bolıp tabıladı. “Uz SemYun” qospa kárxanasında avtomobiller islep shıǵarılıp, bul processsti ámelge asırıwda tiykarınan asinxron matorlardan paydalanıladı. Biz bul diplom jumısımızda kárxananıń reaktiv quwattı tutınıw processin úyrenip, unamlı sheshim tabıwdı maqset etdik.

### **1.3.1. Elektr energiyanıń reaktiv qurawshısı**

Elektr taminat sistemasında elektr uzatıw liniyaları hám tutınıwshı júklemelerdiń aktiv qarsılıǵı menen birgelikte induktiv hám sıyımlılıq da boladı. Induktiv tok tutınıwshı apparatlar reaktiv quwat (energiya) qabıl etiwshiler dep, sıyımlılıq tok tutınıwshı apparatları bolsa reaktiv quwat (energiya) deregi dep ataladı.

Reaktiv quwat tutınıwshıların quramın analiz qılıw sonı kórsetedi, tiykarǵı reaktiv quwat tutınıwshılar tórt qıylı kórinistegi apparatlardan ibarat:

Asinxiron dvigiteller 40%, elektr ısıtqıshlar 8%, vintel ózgerkishleri 10%, transformatorlardı hámme túrleri 35%, elektr uzatıw liniyalari (oları ısıraplar) 7% quraydı.

Elektr tarmaqlarında  $u = U_m \sin \omega t$  kernew berilgende aktiv-induktiv júklemede tok bul kernewden múyeshke jılıb arqada qaladı.

$$I_{\text{H}} = I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (1.1)$$

Elektr qabıl etiwshi bunda da aktiv

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R \quad (1.2)$$

hámde reaktiv

$$Q = UI \sin \varphi = P \operatorname{tg} \varphi \quad (1.3)$$

Quwattı tutınadı. Hár eki jaǵdayda da ámeldegi quwat koeficienti

$$\cos \varphi = \frac{P_i}{Q_i} = \frac{P_i}{\sqrt{P_i^2 + Q_i^2}} \quad (1.4)$$

bul jerde  $P_i$ ,  $Q_i$ ,  $S_i$ ,  $t_i$  – uyqas túrde waqıt birligindegi aktiv, reaktiv hám tolıq quwat (kVt, kVar, kVA).

Kárxanada aktiv, reaktiv quwatlar tekǵana aralıq waqıt múddette bálki islep shıǵarıw bir smenası ótiwde ózgerip turadı.

Reaktiv quwat koeficienti  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_i}{P_i}$  aktiv quwatta reaktiv quwat jalǵanıwı ayqın kórsetedi.

Koeficientler arasındaǵı baylanıs

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}} \quad (1.5)$$

Elektr qabıl etiwshiler tutınatuǵın aktiv quwatı jumıs atqaradı hám basqa tur energiyaǵa: mexanik, ıssılıq, jaqtılıq ximiyalıq, qısılǵan hawa energiyası hám gazǵa ózgeredi.

Reaktiv quwat elektr qabıl etiwshi apparatlarda paydalı jumıs atqarmastan elektrodvigitel, transformator hám elektr uzatıw liniyalarına elektromagnit maydan payda bolıwına sarplanadı.

Aktiv quwat birlemshi dvigitellerde tábiyiy derekten alınğan elektr energiyanı energiya ózgartkish sapası kóríledi. Reaktiv quwat bolsa basqa tur energiyağa aylanbaydı, oni ózgartiriw basqa energiya járdeminde energiya sarplanbaydı, sonıń ushın oni shártli rawishte quwat deb ataymız.

Aktiv quwatın reaktiv quwatqa uqsaslıǵı analogik ańlatpası uqsaslıǵına kelip shıǵadı, hámde elektr qabıl etiwshi apparatlar tekǵana aktiv quwati bálki reaktiv quwatında tutınıp, elektr energiyanı uzatıw hám qabıllawda bir birinen ajralmaǵan túrde magnit hám elektr maydanlardı payda qılıwda; kernewge de reaktiv hám aktiv quwatlardı baylanıslılıǵı hám chastotani statik xarakteristikasına muwapıqlılıǵınan; aktiv hám reaktiv quwatlardı liniyalarda joytıwdan; bir jola reaktiv aktiv quwatı ólshewden ibarat.

Sinisoidal tok shıńırları reaktiv quwatı esaplaw rejimleri ushın ámeliyatda keń qollanıwshı eń maqul túsetuǵın xarakteristikası esaplanadı.

Aktiv hám reaktiv quwatı jaratıw hám qarıydar kózqarasınan kórgenimizde olar arasındaqı úlken parq bar. Eger aktiv quwatı úlken bólegi elektr apparatlardan tutınıp bir neshe kishi mánisi tarmaq elementlerinde joǵalsa, reaktiv quwatı tarmaq elementlerinde joǵalıp ketiw reaktiv quwat ólshep bolmaytın kórinisinde kórinetuǵın boladı. Energiya tarmaǵı 100% reaktiv quwatın 22% elektrostansiyalardı kúsheytiw transformatorlarında, hám energiya tarmaǵın 110 -750 kV li podstantsiyalardaǵı kernewdi asırıwshı avtotransformatorlarına, 6,5% rayon elektr tarmaqlarında, 13,5% kernew páseytiriwshi transformatorları hám 58% bolsa 6 -10 kv shinalarındaǵı qarıydardardıń reaktiv quwatı joǵalıp ketiwinen payda boladı.

Elektr tarmaqtı aktiv quwatı birden-bir bolǵan aktiv quwat deregi bolıw elektr stanciyalardaǵı generatorlarda támiyinlenedi. Generator islep shıǵarıp atırǵan tolıq quwat, aktiv hám reaktiv qurawshılardan ibarat.

Elektrostanciyalardaǵı sinxron generatorlar basqa túrdegi reaktiv quwat derekleri menen zamanagóy elektr tarmaqlarında reaktiv quwattı teń salmaqlılıǵın támiyinleydi. Generator nominal rejimde nominal aktiv quwattıń tómenlewi reaktiv quwattı nominaldan asıp ketiwge sebep bolıwı múmkin. Kishi aktiv júklemi tutınıwı reaktiv quwattı nominal mánisinen keskin asıp ketiwine sebep boladı. Bul túrde generatordıń aktiv júklemesin ustap turıwshı qandayda bir bólegin quwat koefficientin túsiriw jumıs rejimine ótkeriledi. Úlken bolmaǵan júkleme rejimindegi jaratıp atırǵan reaktiv quwattı asırıwda aktiv quwattı kemeytiw esabına ámelge asırıw ekonomikalıq jaqtan uyqas kelmeydi.

Elektr energiyanı uzaq aralıqqa uzatıwda reaktiv quwat elektr támiynattıń barlıq elementlerinde payda boladı jáne bul olardıń reaktiv quwat penen júkleniwi arqalı tusintiriledi. Elektr támiynat sistemasınıń R qarsılıǵı arqalı aktiv hám reaktiv quwatı uzatılıwında aktiv quwat joytıw tómendegishe boladı:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p \quad (1.6)$$

Solay etip reaktiv quwat  $Q$  aǵıwı arqalı aktiv quwattı qosımsha ısırapı  $\Delta P_p$  onıń kvadratına praporsional boladı.

2. Rayon elektr tarmaqlarda qosımsha kernew ısırapı payda boladı. Aktiv hám reaktiv qarsılıqlar elektr táminat tarmaqları arqalı aktiv quwat  $P$  hám reaktiv quwat  $Q$  uzatıwda kernew joǵalıwı.

$$\Delta U = \frac{PR + QR}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QP}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p \quad (1.7)$$

Bul jerde  $\Delta U_a$  kernew ısırapı menen belgilenedi;  $\Delta U_p$  - kernew ısırapı reaktiv quwat ısırapı menen belgilenedi.



Energiya qabıl etiwshi bólimlerindeki kernew joytıw onıń aǵıwına hámde uyqas túrde kernewdi basqarıw quralları asıwın keltirip shıǵaradı.

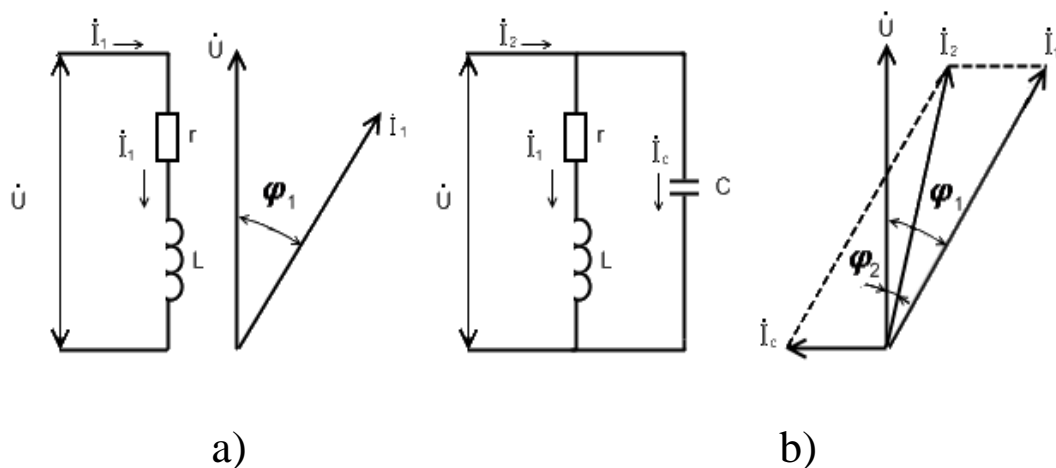
Keltirip ótilgen pikirlerden kórinedi reaktiv quwat deregin tutınıp atırǵan jayǵa keltiriw energiya tarmaqtan reaktiv quwatqa bolǵan talabın kemeytiw de texnikalıq-ekonomikalıq jaqtan maqul túsetuǵın jol esaplanadı.

### **1.3.2. Reaktiv quwattı kompensatciyalaw usılları**

Reaktiv quwattı kompensatciyalaw dep onı islep shıǵarıw yamasa kompensatciyalaw apparatları járdeminde tutınıwǵa aytıladı. Reaktiv quwattı kompensatciyalaw principi tómendegishe boladı.

Hámmege belgili kondensatorlardan ótip atırǵan tok oǵan qoyılǵan kernewden  $90^0$  múyeshke aldında bolıp, induktiv katushkadan ótetuǵın tok bolsa oǵan qoyılǵan kernewde  $90^0$  múyeshke arqada qaladı. Solay etip sıyımlılıq toǵı reaktiv quwat hám induktiv tok payda etiwshi energiya maydanǵa kerı, reaktiv quwattı magnit maydan payda qılıw baǵdarına kerı tásir kórsetedi. Sol sebepli sıyımlılıq toǵı hám sıyımlılıq quwatı shártli túrde kerı tok boyınsha magnitlaw hám magnitlaw quwattı shártli oń dep qabıl etemiz. Bul túrde sıyımlılıq reaktiv quwattı magnitleniwi bir-birine san jaqtan teń bolıp óz-ózin kompensatciyalaydı ( $Q_c - Q_l = 0$ ) hám tarmaq reaktiv júkleme qurawshısın tasıwdan azat boladı.

Sıyımlılıq tokı járdeminde kompensatciyalaw principi 1.3-súwretdegi vektor diagrammada keltirilgen.



1.3-súwret. Magnitlawdıń reaktiv tokın kompensatciyalaw usılı a-kompensatsyalawǵa shekem bolǵan sxema, b-kompensatsyalanǵan sxema

Júklemege parallel jalǵanǵan, R hám L qurawshılardan ibarat bolǵan sıyımlılıq kondensatorı C ti sonday etip saylanadı, ol jaǵdayda kondensatordan ótip atırǵan I tok induktiv L tutınıp atırǵan magnitlaw I toǵınıń absolyut mánisine jaqın bolǵan bahada saylanadı. Vektor diagrammadan ayqın kórsek boladı júkleme mánisindegi tok hám kernew faza jılıwınıń múyeshi  $\varphi_1$  dan  $\varphi_2$  ge shekem bolǵan shamada kondensator S jalǵawda hám uyqas túrde júklemeni quwat koefficientti asırıw ámelge asırıladı. Eger  $\varphi_2=0$  bolǵan sıyımlılıqtı asırıw menen barlıq júkleme reaktiv quwattı kompensatciyalaw mumkin texnikalıq ilaj bolıp, bir qansha maqsetlerde qollaw múmkin.

Birinshiden reaktiv quwattı kompensatciyalaw reaktiv quwat balansın támiyinlew ushın zárúr.

Ekinshiden kompensatciya apparatların qollaw tarmaqta elektr energiya ısırapın kemeytiw ushın.

Úshinshiden: kompensatciya apparatları kernewlerdi retlew ushın qollanıladı.

Hámme jaǵdaylarda kompensatciya apparatlar qollawda tómendegi texnikalıq hám rejim talapların shegaraların úyreniw zárúr bolıp tabıladı.

- 1) júkleme túyinlerinde zárúrli quwat rezervin.
- 2) derektiń shinalarında reaktiv quwattı jaylastırıw.
- 3) kernew iyiwin.
- 4) elektr tarmaqlardı ótkeriw qábileti.

Transformator hám liniyalardan reaktiv quwat artıqsha toklardı kemeytiw ushın reaktiv quwat deregin onı tutınıp atırǵan tutınıwshılardı jaqın jerge jaylastırıw kerek. Sonda tarmaq elementleri reaktiv quwattan jeńillesip, aktiv quwattı hám kernew ısırapın azayıwǵa alıp keledi. Bunnan kóringenindey júkleme quwat ózgermegen jaǵdayda podstantsiyada kompensatciya apparatların ornatiw liniya reaktiv quwattan jeńillesip tok hám reaktiv quwat azayıwǵa alıp keledi. Proektlestirilip atırǵan yamasa qollanılıp atırǵan tutınıwshı elektr apparatlardı reaktiv quwattı kompensatciyalaw ushın alıp barılatuǵın ilajlardı tómendegi 3 gruppaga ajıratıwımız múmkin.

1. Kompensatciya apparatlardı talap etpeytuǵınlardı qollaw.
2. Kompensatciya apparatlardı qollaytuǵınlar.
3. Esaptan tısqarı jol menende ruxsat etilgen.

Birinshi gruppa ilajları reaktiv quwattı kemeytiw ushın bolıp birinshi náwbette kórip shıǵıw kerek. Bular tómendegishe kapital aqshalarǵa zárúr emes bolıp tabıladı. Keyingi eki ilajlar energiya tarmaq penen kelisim túrde analiz-ekonomikalıq esaplaw arqalı tastıyıqlap beriw kerek.

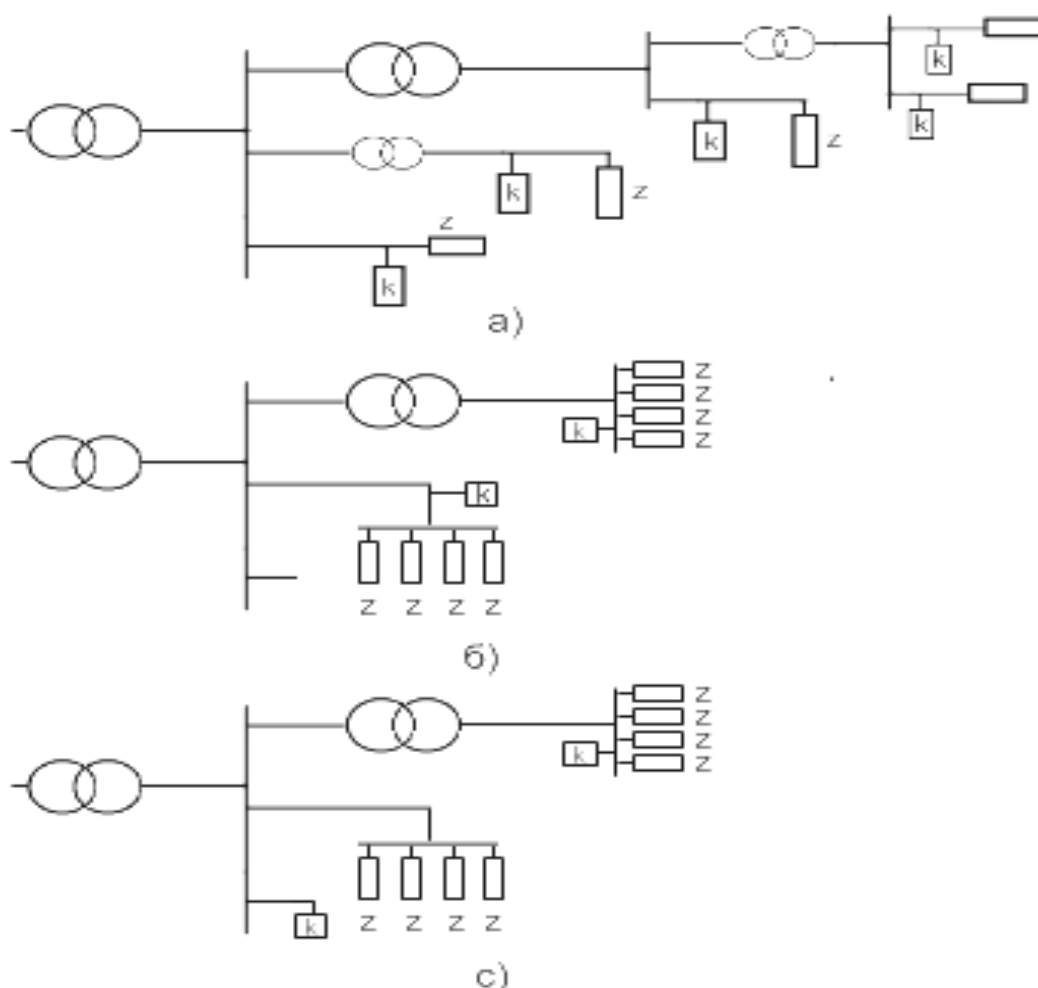
Kompensatciya apparatlar qollawdaǵı ilájlar.

- 1) statik kondensatorlardı ornatiw.
- 2) sinxron dvigatellerdi kompensator retinde qollaw.
- 3) reaktiv quwattıń statik dereklerin qollaw.
- 4) parallel isleytuǵın atap ótilgen bir neshe apparatlardı kompensatciya tarmaǵı ushın qollaw.

Qollanılıp atırǵan reaktiv quwattı kompensatciyalawshı aparatların joqarı ózine túser bahasına jáne bul aparatlardı ámeldegi quramalılıǵına qaray onı tereń texnikalıq-ekonomikalıq jaqtan analiz qılıwdı talap etedi.

Kompensatciya aparatların elektrenergetik sistema tarmaqlanıw hám olardı ornatiw jaylarına salıstırǵanda tómendegi kórinislerge bólinedi: Jalǵız, gruppalanǵan hám oraylasqan kompensatorlarǵa.

1.4-súwretde elektr tarmaqlarındaǵı kompensatciya aparatların jaylasqan orınların bir neshe túri kórsetilgen.



*1.4-súwret. Kompensatciya aparatları jalǵanıw sxeması  
a – jalǵız kompensatsiya; b – gruppalanǵan kompensatciya; c –  
oraylasqan kompensatciya*

Jalgız kompensatorlar - tarmaqtan reaktiv quwat tutınıp atırǵan energiya qabıllaǵısh penen birgelikte isleytuǵın aparat. Eger tarmaqtı tolıq kompensatciya etkende olar energiya qabıllaǵısh hám kompensatciya aparatın aktiv energiya qarıydarlarǵa aylanıp qalar edi. Jalgız kompensatciyanı tiykarǵı kemshiliklerinen biri bul kompensatciya aparatların óshiriw jaǵdaylarında qollanılmaydı. Bul kórinistegi reaktiv quwattı kompensatciyalawdı eń maqul túsetuǵını sızıqlı emes xarakteristikası buzılǵan energiya qabıllaǵıshlarda qollaw kerek.

Keyingi jıllar dawamında mámleketimizde elektroenergetik tarmaqlar keskin asıp barıw oraylasqan kompensatciyalaw azayıwına sebep bolıp atır. Sebebi úlken energiya tarmaqlarında oraylasqan kompensatciya aparatları hámme noqatlarda da reaktiv quwattı kompensatciyalaw múmkinshiligin bermey atır. Ásirese sızıqlı emes júklemeli elektrostanciya hám podstanciya arasındaǵı aralıq qansha uzaq bolsa, liniya da sonsha kóp energiya ısırap etedi.

### **1.3.3. Ózgertkish aparatlı elektr támiynat sistemalarında reaktiv quwattı kompensatciyalaw**

Reaktiv quwattı kompensatciyalawdaǵı kondensator batareyaların qollawda júzege keliwshi texnikalıq qolaysızlıq.

Elektr támiynatında ventel ózgertkishlerin keń qollawda olardı támiyinlew tarmaǵına tásin kemeytiw birinshi náwbette reaktiv quwattı kompensatciyalaw sorawın tarqatıp alıwdaǵı tiykarǵı mashqalalardan biri bolıp qalıp atır. Bizge belgili, reaktiv quwattı kompensatciya ushın kondensator batareyalarınan paydalanıw ásirese keń qollanıladı. Bul olardı basqa tur reaktiv quwat kompensatorlari aldında bir neshe artıqmashılıqlarǵa iyeliginen derek beredi. Anıqlıq penen ayıtqanda olardı joqarı hám tómen kernewlerge sáykesligi kishi aktiv quwat tutınıwı

(0.0025-0.005 kVar lar) eń kem salıstırma bahasın (1 kVar ushın), ápiwayı ekspulatatciyasi; ápiwayı islep shıǵarıw montajı; QAR qanday qurǵaq ımaratlarda ornatılıwına sáykesligi bul olardıń eń úlken jetskenlikleri bolıp tabıladı.

Biraq sızıqlı emes júklemelerde payda bolatuǵın joqarı garmonikalari bóliwshi tarmaqlarda, ápiwayı reaktiv quwatti kompensatciyalaytuǵın apparatlardı qollawda ayırım texnikalıq qolaysızlıqlarǵa iye ekenligin kórsetip ótemiz.

Keskin ózgeriwshen reaktiv quwatti kompensatciyalaw ushın kondensator batareyaları menen birge mexanik óshirgishler járdeminde onıń sekciyasın óshiriw hám qosıw jolında qolaysızlıq penen kórsetiledi. Bul taǵı onıń joqarı tán bahası, mexanik óshirgishiti tómen bekkemligi menen xarakterlenedi. Bunnan tısqarı támiyinlew tarmaǵında kondensator batareyalardı qosıwda júz beretuǵın úlken toklı kommutatsion soqqılar hám sızıqlı emes júklemelerde payda bolatuǵın joqarı jiylik garmonikalari kondensator batareyaları ushın jaǵımsız jaǵdaylar menen sáwlelenedi. Támiyinlew tarmaqlarındaǵı joqarı garmonikalardi kondensator batareyaların jumıs protsesların izertlewde ásirese ventelli ózgergishların qollawdaǵı elektrlesken temir jol tarmaqlarındaǵı kondensator batareyaların isletiwde ámeliy axmiyetke iye esaplanadı.

Kondensatorda asa júkleniw tokları 30% ge shekem, kernew bolsa 10% ge shekem asırıwǵa ruxsat beriledi. Ámelde bolsa rezanans esabına júkleme toǵı 400%-500% ge shekem bolıw múmkin. Kondensator batareyaların quwat hám ornatiw jayın tańlawda sızıqlı emes júklemede payda bolatuǵın rezanans kernew hám toǵın esapqa alıw zárúr boladı. Sinusoidal emes kernew sharayatındaǵı kondensator batareyaların jumısın kórip shıǵıwda támiyinlew tarmaǵın joqarı garmonikasi menen kondensator batareyasın óz-ara sáykesligin esapqa alıw zárúr.

#### ***1.4. - Elektr támiynatı sistemalarında kóp fazalı toklardı kernewge ózgeritiw, qadaǵalaw hám basqarıw sistemalarında qollanılatuǵın tok ózgertkishleriniń túrleri hám olardıń ózgeritiw prinsipleri***

ETSlarını úzliksiz hám isenimli energiya támiynatı menen támiyinlew ushın tekǵana aktiv hám reaktiv quwat dereklerin tuwrı tańlaw, bálki olardı qadaǵalaw hám basqarıw sistemaları aparat hám datchikleriniń isenimli islewin támiyinlew, hám de real waqıt dawamında monitorıń qılıw talap etiledi. ETSları reaktiv kuwatınıń kóp fazalı tokların kernewge ózgeritiw datchigi kóp fazalı biremshı elektr tok kórinisindegi shamanı túrli fizikalıq-texnikalıq effektler tiykarında kernew kórinisindegi ekilemshı signallar kórinisine ózgeritiw processleri tuwrısındaǵı kernew islep shıǵarıwdı támiyinleydi.

ETSların reaktiv quwattı kóp fazalı biremshı tokların ekilemshı kernewge ózgeritiw datchigi tiykarında qadaǵalaw, basqarıw hám monitorıń qılıwda, energiya támiynatı derekleriniń tiykarǵı úlkenligi - kóp fazalı biremshı elektr toklardı ózgeritiliwi tuwrısındaǵı signallardı - ekilemshı kernewlerdi payda etiw elektromagnit, elektrodinamik hám basqa fizikalıq qubılıslarǵa tiykarlanǵan fizikalıq-texnikalıq effektlerdi qóllaw menen ámelge asırıladı. Házirde ETSlardıń reaktiv quwattı qadaǵalaw hám basqarıwında kóp fazalı toklardı kernew kórinistegi shıǵıw signalına ózgeritiwde elektromagnit datchikler basqa túrdegi datchiklerge salıstırǵanda keńlew qollanılıp atır.

Turaqlı hám ózgermeli tok datchikleriniń júdá kóp túrleri ámeldegi bolsada, biraq ETSları reaktiv quwatın kóp fazalı biremshı togın ekilemshı kernew kórinisindegi signalǵa ózgeritiriwshı datchikler qadaǵalaw hám basqarıwda turaqlı hám ózgermeli toklardı anıq, sıızıqlı, isenimli hám sol sıyaqlı qatar kórsetkishlerin támiyinlewine qaray, ózgeritiw fizikalıq-texnikalıq effektleriniń saykeslerin tańlawda olardıń abzallıqları hám

kemshiliklerin kórip shıǵıw, hám de olardı qadaǵalaw hám basqarıw sistemasında qollanıw kelesheklerin bahalaw talap etiledi. Elektr shama datchikleriniń salıstırmalı bahalaw materialları 1.1- kestedekeltirilgen.

ETSları reaktiv quwatınıń kóp fazalı birlemshi tokların ekilemshi kernewge ózgeriw, qadaǵalaw hám basqarıw datchiklerida bayqaǵısh element bolǵan ekilemshi oramlar (ápiwayı yamasa tegis ekilemshi chulǵam) hám olarda ornatılǵan izolyatsion plastinkalardı birlemshi qozǵawtıw oramına iye magnit ótkeriwshiniń hawa aralıqlı sańlaǵında jaylastırıw principi datchiklerga qoyılǵan joqarı anıqlıq, sıızıqlı ózgermeli shıǵıw signalın támiyinlew, kóp fazalı birlemshi toklardı ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw, operativlik sıyaqlı datchiklerga qoyılǵan tiykarǵı talaplardı tolıq qaniqtiradi.

### *1.1-keste*

#### **Datchiklerdi salıstırmalı bahalaw nátiyjeleriniń kestesı**

№	Turi	Ólshew shegaresi	Qáteligi	Abzallıqları	Kemshilikleri
1	Elektromexanik	0-1000 A	5 %	Duzilisiniń ápiwayılıǵı	Háreketleniwshi bóleginiń bar ekenligi
2	Magnitomodulyatsion	0-30 kA	0,2 - 0,5 %	Isenimlilik, xizmet kórsetiwiniń ápiwayılıǵı	Ulken kólemawiriq kórsetkishleri
3	Rezestiv	0-10 kA	0,2 - 0,5 %	Sistemaniń ápiwayılıǵı	Shinjirlardin uziliwleri
4	Magnitorezonanslı	0-10 kA	0,01 - 0,03	Joqarı anıqlıq	Derekte shinjirlardiń



			%		uzilisleriniń zarurligi
5	Tok transformatori	0-150 kA	0,2 - 0,5 %	Isenimlilik, xizmet kórsetiwiniń ápiwayılıǵı	Ulken kólem-awirlıq kórsetkishleri
6	Magnitogalvanik	0-200 kA	0,1 - 0,5 %	Joqari anıqlıq hám sezgirlik	Konstruktiv hám sxematik quramalılıq
7	Magnitoptik	0-200 kA	0,05 - 0,1 %	Joqari kernewli liniyalarda qollaw imkaniyati	Duzilme hám ólshew sxemasiniń quramalılıǵı
8	Kóp fazalı tok mánisin kernew kórinisindegi shıǵıw signalına elektromagnit ózgartirwshi datchik	0-300 A	0,2 - 0,5 %	Kóp fazalı toklar payda qılǵan magnit aǵımlariniń óz-ara tásirlerin esapqa alıw, tayarlaw texnologiyasınıń qolaylılıǵı, isenimliliǵı, tejemliliǵı, anıqlılıǵı, tezligi, shıǵıw xarakteristikasınıń sıziqlılıǵı	Sirtqi magnit maydanlar hám temperaturasınıń tasiri

Ámeldegi tok ózgartkishleri tiplerin tiykarǵı xarakteristikaların salıstırw analizi sonı kórsetti, kontaktlı ózgartkichlerde járdemshi elektr támiynat dáreklerine mútajlıq joq ekenligine qaramay, salıstırǵanda úlken salmaqlıqqa hám quwat tutınıwına iyeligin hám jumıs jaǵdayı isenimliliǵı tómenliginen

olardı asinxron motor reaktiv quwatınıń qadaǵalaw hám basqarıw sistemalarında tok ózgerkishleri retinde qóllaw maqsetke muwapıq emes.

Yadro – magnitorezonans (YAMR) tok ózgerkishleriniń islewi elementtiń atom bólekleri magnit maydan tárepinen jaratılǵan energiya sublevelleri arasındaǵı magnit dipol ótiwleri nátiyjesinde joqarı chastotalı energiyanı jutıwı hám shıǵarıwı hádiysesine tiykarlangan. Úlken toklardı ólsheude YAMR hádiyesi tiykarlangan ózgerkishlerden paydalanıladı.

Asinxron motorlardıń reaktiv quwatın qadaǵalaw hám basqarıw sisteması sezgir elementinen shıǵıw kernewi kórinisi stator oramlarınan ótip atırǵan toktıń ózgeriwiniń belgileytuǵın signal alınadı. Asinxron motorlarda toktıń ózgeriwi tiykarınan elektromagnit, elektrodinamik hám elektromexanik processler sebepli júz beredi. Tok kúshiniń birlemshi ózgeritirishlerinde energiya ózgeriwiniń tiykarǵı funksiyası - qadaǵalaw hám basqarıw sisteması ushın tok yamasa kernew kórinisindegi signaldıń ózgeriwi processinde júz beredi.

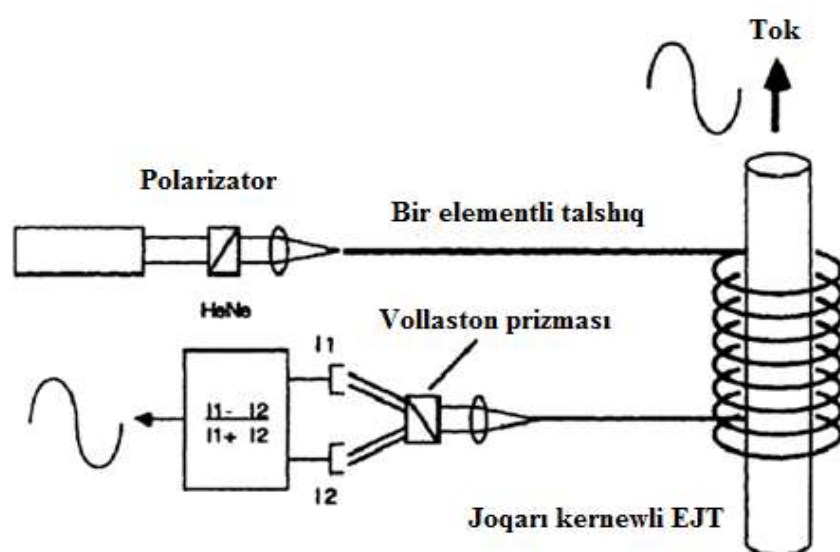
Házirgi waqıtta ózgerkishlerdiń kóplegen túrleri málim jáne bul jaǵday olardıń zárúr markadaǵısın hám arnawlı bir konstruksiyasın tańlawdı qıyınlastıradı. Sol sebepli ózgerkishler elementleri hám konstruksiyasın arnawlı bir principler tiykarında analiz qılıw maqsetke muwapıq, bul olardıń Principial hám konstruktiv ayırıqshalıqların anıqlaw imkaniyatın beredi.

**Optikalıq talshıqlı tok datchiklari.** Optikalıq talshıqlı tok datchiklari elektr energetika sistemasında joqarı kernew shinasiga kontaktsiz jalǵanıw imkaniyatın jaratıp, elektr tarmaqlarınan ótip atırǵan toklardı ólsheude ushın isletiledi. Bunday datchikdan analog signallardı tikkeley uzatıw baylanıs liniyasi elementleri klassifikaciyaların nostabilligi sebepli kishi aljasıqlarǵa erisiw imkaniyatın bermeydi, usınıń nátiyjesinde bunday sistemalarda modulyasiyaning túrli kórinisleri qollanıladı.

Optikalıq talshıqlı tok datchiklarida kólemli yamasa rezistiv datchikdan signal modulyatorga keledi. Modulyator analog kernewdi chastotası yamasa dáwirin modulyasiyalanğan impulslarğa ózgartiredi. Jaqtılıq taratiwshi diod hám fotodiod óz-ara optikalıq talshıqlı jgut menen birlesken. Kúsheytgish fotodiod shıǵıwında payda bóliwshi impulslardi kúshaytedı, demodulyator bolsa elektr támiynatı sistemasındaǵı dáslepki signal formasın qayta tikleydi. Sonıń ushin analog kernewdi cifrlı formaǵa ózgeriw jáne onı optikalıq kanal boyınsha uzatıw basqarıw orayı – EEM na shıǵıw maqsetinde qollanıladı.

Optikalıq talshıqlı baylanıstan paydalanıw joqarı hám tómen kernewli bólimlerdi galvanik ajratıwdan tısqarı zárúr bolǵanda ózgerkish tómen kernewli bólegin úlken aralıqta (100 - 200 m) jaylastırıw imkaniyatın beredi.

Ózgeriw aljasıqlarına kelsek, shet elde sanaat chastotalı kernew 500 kv bolǵanda 0,3 % aljasıqlarǵa iye toktı ólshewshi optikalıq ózgerkishler qollanıladı. Toktı ólshewde, tiykarınan, Faradeydiń magnitooptik effektinen paydalanıladı. Magnitooptik tok datchigi dúzilıw sxeması 1.5-suwretde berilgen.

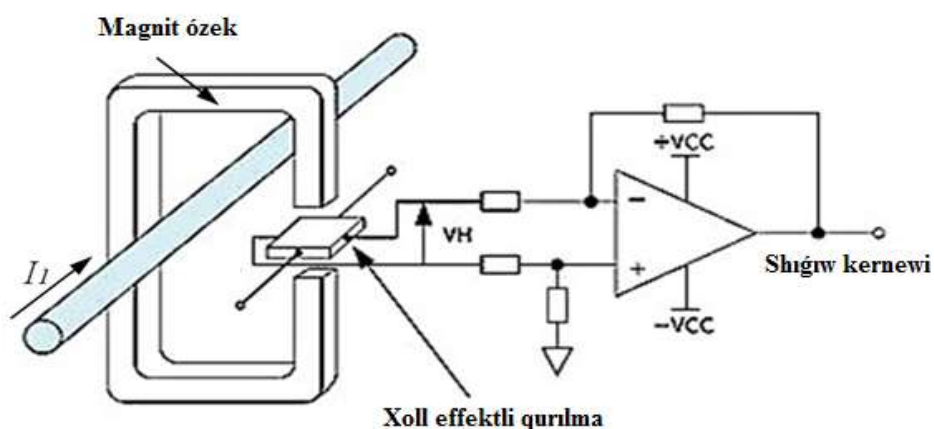


1.5-súwret. Magnitooptik tok ózgerkishiniń dúzilıw sxeması

Usınıń menen birge toktıń magnitooptik ózgerkishleri salıstırǵanda tómen sezgirliq, quramalı konstruksiya, ózgerip

atırǵan toktıń qutblanıw múyeshi mánisi menen bir tárepleme bolmaǵan baylanıshlıǵı hám avtonom quwat dáregine iye. Bunnan tısqarı olar, tómen temperatura, vibratsion turaqlılıq, basqarıw hám qadaǵalaw sistemalarında keń qollanıwına ırkilis beretuǵın joqarı baháǵa da iye.

**Magnitogalvanik tok ózgerkishleri.** Ótken ásirdeń ortalarınan baslap magnitogalvanik effektke, atap aytqanda, Xoll efektine tiykarlanǵan tok ózgerkishleri qollanıla baslandı. Magnitogalvanik tok ózgerkishlerinin islewi eki principke tiykarlanǵan. Birinshisi - shınadan ótetuǵın tok payda etgen magnit maydanı kúshlengenligini tuwrınan – tuwrı ólshew. Ekinshisi - toktı ólshewdiń kompensatsion usılı, ol júzimli ótkeriwshi átirapındaǵı magnit ótkeriwinde magnit maydanı – kompensatsion tok magnit maydanı menen magnit ótkeriwinde jaylastırılǵan arawlı túte arqalı teńlestiriledi, nátiyjede Xoll datchigi (XD) nol – organ retinde isleydi jáne bul toktı ólshew anıqlıǵın asırıw imkaniyatın beredi. Xoll efekti tiykarındaǵı magnitogalvanik tok ózgerkishiniń dúziliw sxeması tómende keltiilgen (1.6 –súwret).



1.6 -súwret. Xoll efekti tiykarındaǵı magnitogalvanik tok ózgerkishiniń dúziliw sxeması

Ózgerkishdiń elektr támiynatı kernew stabilizatorınan 24 v kernew menen ámelge asırıladı hám 12 kGs chastotada isleytuǵın

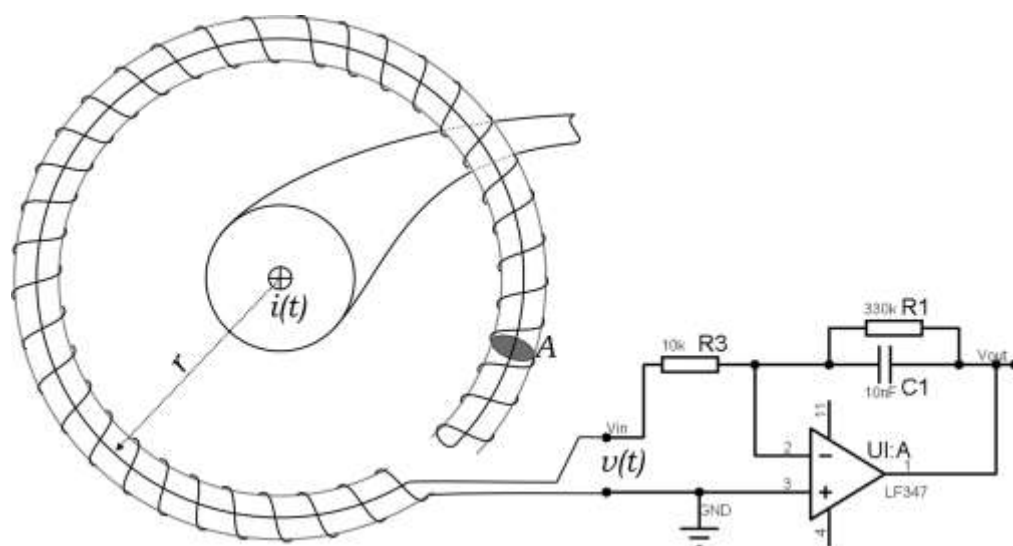
kernew ózgertkishine beriledi. Shiǵıwda  $\pm 12$  v ózgermeytuǵın kernew qáılestiredi. Magnitogalvanik ózgertkishleride onsha úlken bolmaǵan kólem hám massadan tısqarı, joqarı operativligi olardıń abzallıǵı esaplanadı, bul olardan ózgermeytuǵın toktı ózgertiw ushın paydalanıwǵa múmkinshilik beredi.

**Elektromexanik ózgertkishleri (EMÓ).** EMÓ dıń fizikalıq qasiyeti - ólshenip atırǵan toktıń járdemshi magnit maydanları yamasa ferromagnit massalar menen kúsh óz-ara tásirine tiykarlangan. Olar konstruksiyasınıń ápiwayılıǵı, joqarı isenimlilik, tolıq avtonomlıq, kóp shegaralılıqti ámelge asırıw, turaqlı, ózgeriwshen hám impulsı toklardı ólshew múmkinshiligi sıyaqlı qatar artıqmashılıqlarǵa iye. Sonıń ushın házirgi kúnde 10 nan 5000 A ge shekem toklarda isleytuǵın sanaat elektromagnit tok ózgertkish (EMTÓ) larnıń kóbisi elektromexanik ólshew mexanizmi tiykarında tayarlanadı.

Kemshilikleri: joqarı energiya tutınıwı, onsha joqarı bolmaǵan sezgirliq, tegis emes shkala, EMÓniń kórsetiwlerine sırtqı magnit hám temperatura maydanlarınıń, támiynat kernewi chastotasınıń tási.

**Bir fazalı úsh elementli datchik.** Elektr támiynatı sistemasın tarmaǵından aǵıp atırǵan bir faza IA - birlemshi tokın ekilemshi kernewge ózgertiw úsh elementli datchiginiń ózgertiw elementleri 1.7 -súwretde keltirilgen.

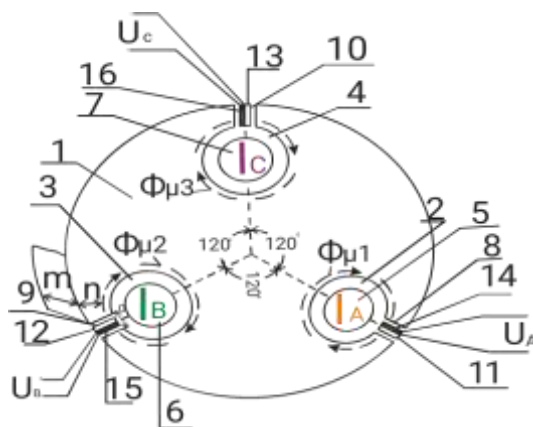
Úsh elementli tok ózgertiw datchiginiń eń ápiwayı túrinde birlemshi toktı ekilemshi kernew – signalǵa ózgertiw procesi ETT tarmaǵınıń tok ótkeriwshi - datchiginiń qozǵaltıw deregi - ekilemshi oram tiykarında ámelge asırılıp, datchiktiń sezgir elementi retinde birlemshi oram payda etiwshi magnit maydanında jaylasqan ekilemshi oram (Rogovskiy belbewi - poyasi) (1.7 -súwret) isletiledi.



1.7 -súwret. Rogovskiy belbewi paydalanıw sxeması

Bul tur datchikda ekilemshi oram shıǵıwınıń bir ushi oramli magnit ózek – solenoıdıń óqi boyınsha jatadı, ekinshi ushi bolsa solenoid hám kósher boyınsha jatqan oram ústine oralǵan oram ushi kórinisinde boladı. Bunda ekilemshi oram shıǵıw kernewi birlemshi júzimka proporsional bolıwı támiyinlenedi.

**Funksional múmkinshilikleri keńeytirilgen elektromagnit ózgertkishler.** Funksional múmkinshilikleri keńeytirilgen elektromagnit ózgertkishler (FIKEMÓ) ólshew elementi retinde bir, eki, úsh hám odan kóp fazalı elektr támiynatı sisteması birlemshi tokların ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgergiw arqalı basqarıw sistemasın signal menen támiyinlewge xızmet etedi (1.8-súwret).

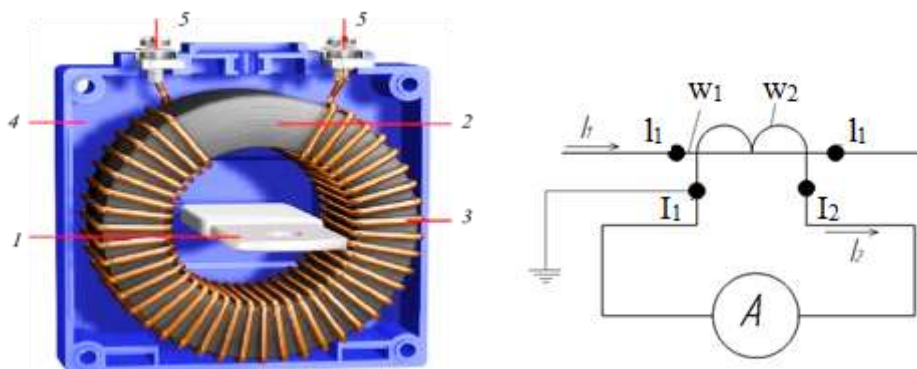


1.8-súwret. FIKEMÓ dıń ulıwma kórinisi

FIKEMÓ de dóńgelek magnit ótkeriwshi 1 bir birinen 120 o múyeshka parq etiwshi – 2, 3, 4 S simon tesikler hám olardıń orayından ótetuǵın, magnit ózek hám hawa aralıqta magnit aǵıs payda etiwshi 5 (A faza ), 6 (v faza ) hám 7 (S faza ) ótkeriwshilerden ibarat bolıp, bunda magnit ótkeriwshide elektr támiynatı sisteması tarmaqları fazalarına tuwrı keletuǵın, S simon tesik sańlaqları hám hawa aralıqları 8, 9, 10 nan, olarda jaylastırılǵan izoliyasiyalangan plastinkalar 11, 12, 13 hám olarda jaylastırılǵan sezgir elementler - ápiwayı ólshew oramları 14, 15, 16 nan ibarat.

FIKEMÓ járdeminde elektr tarmaqlarınan ótip atırǵan biremshı toklarǵa uyqas halda, ekilemshı oramlardan kernewler kórinisindegi signallar payda etinadi. Ekilemshı oramlar shıǵıw kernewleriniń muǵdarları ólshew ásbapları hám mikroprotsessorni basqarıw sistemaları ushın kópi menen 20 V muǵdarda payda bolatuǵın etip tayarlanadı.

**Tok transformatorları.** Tok transformator (TT) lari ólshew transformatorları esaplanıp, olardıń ekilemshı oraminan shıǵıwshı tokınıń mánisleri 1 A hám 5 A ge teń etip islep shıǵarılıp atır. Tok transformatorları ush tiykarǵı bólim – biremshı oram, magnit ótkeriwshi hám ekilemshı oramnan ibarat bolıp olar signal ózgertiw elementleri esaplanadı (1.9 -súwret).



1.9 -súwret. Tok transformatorınıń ulıwma kórinisi (a) hám prinsial sxeması (b): 1 – biremshı oram, 2 – magnit ózek, 3 – ekilemshı oram, 4–transformator korpusı, 5 – shıǵıw bólekaları

Transformatorдың  $W_1$  birlmshi orami qadaǵalaw qılınıp atırǵan ózgeriwshen tok shıńjırına izbe–iz jalǵaniwshi  $L_1$  hám  $L_2$  shıǵıwlarǵa iye.  $W_2$  ekilemshi oramniń  $I_1$  hám  $I_2$  shıǵıwları ólshew hám qorǵaw apparatlarına jalǵanadı.

Usılay etip, tok ózgertkishlerin keń kólemde qollanıwında toklardı ólshew tómendegi maqsetlerge xızmet etedi: úsh fazalı elektr tarmaǵı elektroavtomatikası hám elektr támiynatı sisteması elektr apparatları jumıs rejimin baqlaw; elektr energiyası tutınıwın basqarıw hám esapqa alıw; elektr támiynatı sisteması elektr apparatları texnikalıq xarakteristikaların bahalaw.

Ózgeriwler qateligi, elektr energiya tutınıwın esapqa alıw hám baqlawda, elektr támiynatı sisteması elektr apparatları sınaqlarında 0, 1...0, 5 % ten aspawı kerek. Elektr támiynatı sistemaları elektr apparatları operativ qadaǵalawı hám qorǵawında elektr avtomatika elementleri hám apparatları anıqlıǵı júdá joqarı bolıwı zárúr.

Úsh fazalı toklar ózgertkishleri shıǵıw signalı júkleme qarsılıǵınıń ózgeriwinde amplituda hám múyesh aljasıqları kishi bolıwı ; isenimli bolıwı, waqıt hám sırtqı tásinlerge tiykarǵı xarakteristikası ortasha bolıwı, operativligi joqarı bolıwı talap etiledi.

### **«Honeywell» kompaniyasınıń ózgertkishleri - tok datchikleri**

1.2-kestede «Honeywell» kompaniyasınıń keń tarqalǵan ózgertkish - datchikleri keltirilgen. Olar ózgermeytuǵın DC (direct current) hám ózgeriwshen AC (alternating current) toklardı ólshew hám baqlaw ushın mólsherlengen hám teris baylanıslı avtomatikalıq sistemalarda keń qollanıladı. Islew Principine qaray rezistiv, Xoll effektine tiykarlangan datchikler hám elektromagnit TT ga bólinedi.



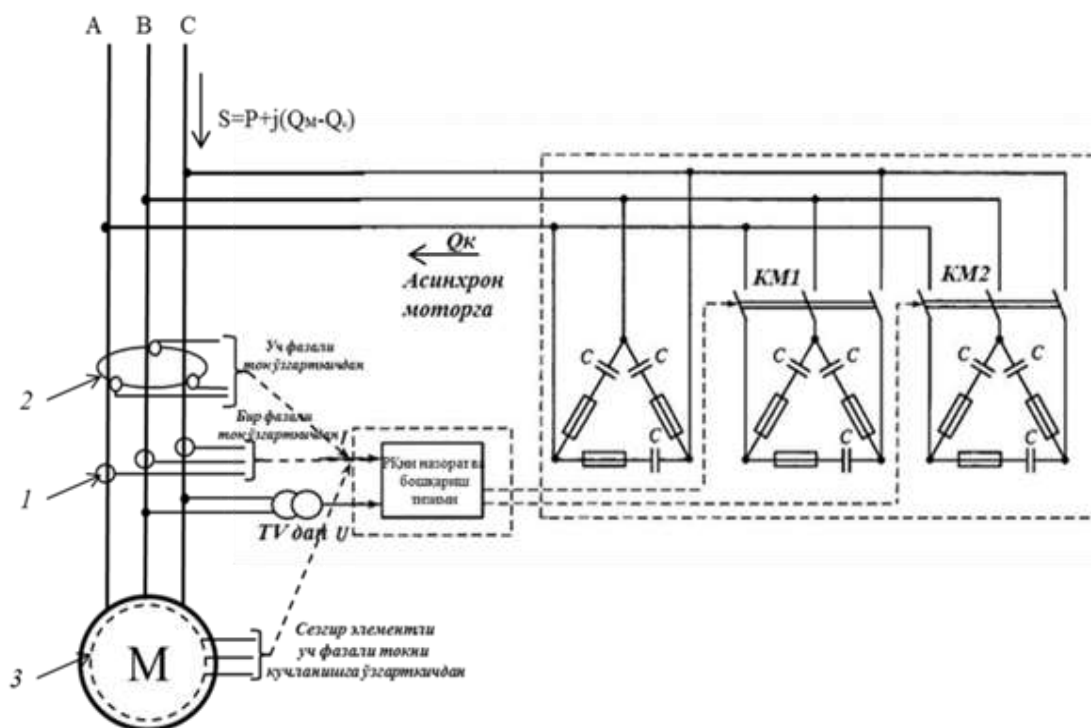
**«Honeywell» kompaniyası tok ózgertkishlerinin  
texnikalıq xarakteristikaları**

Tiykarǵı kórsetkishler	Qarsılıqlı ózgertkich	Xoll effektli ózgertkich	Elektromag-nit TT
Ózgertiw anıqlıǵı, %	0,02–0,5	0,02–0,5	0,2–1
Xarorat ózgeriwinde anıqlıq, %	0,12–1	0,2–1	0,5–3
Birlemshi toktı ózgertiw shegarası, kA	0,1 gacha	20 gacha	200 gacha
Tok hám kernew arasındaǵı faza jılısıw múyeshi	20° gacha	0°	0°
Izolyasiya, MOm	0	1000	1000
Ózgertiw shınjırına jalǵanıwı	Kontaktli	Kontaktsiz	Kontaktsiz
Ózgertiriwshi tok túri, AC/DC	AC/DC	AC/DC	Faqat AC
Bahası	Tómen	YUqori	Orta
Tutınıw quwatı, vA	75	5	5

1.2-kestden usıdan ayqın boladı, rezistorli tok ózgertkish–datchikleri quramı ólsheniwshi shınjırǵa jalǵan rezistorli elementten ibarat. Xoll effektine tiykarlangan tok ózgertkish - datchikleri úlken toklardı ólshewde joqarı anıqlıqqa iye bolsada, magnit sistemasınıń tóyinishi sebepli olar anıqlıqta sheklewlerge iye, qosımsha dereklerde talap etedi hám salıstırǵanda qımbat. Elektromagnit TT tek ózgeriwshen toklardı ólshewde paydalanıladı hám kishi chastota diapazonına iye. Elektromagnit TT sırtqı derekke mútajlıǵı joqlıǵı, bahası arzan hám kem quwat tutınıwı sıyaqlı ayirmashılıqlarǵa iye. Házirgi kunge shekem

elektromagnit TT lardan reaktiv quwat dáreklerin basqarıwda keń paydalanıp kelinip atır.

Tutınıw qılınıp atırǵan reaktiv quwatı qadaǵalaw etiletuǵın hám basqarılıwshi asinxron motordıń elektr támiynatı sistemasına jalǵanıwında bir fazalı, úsh fazalı yamasa sezgir elementli úsh fazalı tok ózgerkishlerinen paydalanıladı (1.10-súwret).



1.10-súwret. Asinxron motor reaktiv quwatı qadaǵalawı hám basqarıw sisteması sxeması

1 – bir fazalı tok ózgerkichi, 2 – úsh fazalı tok ózgerkichi, 3 – sezgir elementli úsh fazalı toktı kernewge ózgerkishi, Tv – kernew transformatorı, RQNBT – reaktiv quwatı qadaǵalaw hám basqarıw sisteması, KM1, KM2 – magnit iske túsirgishler

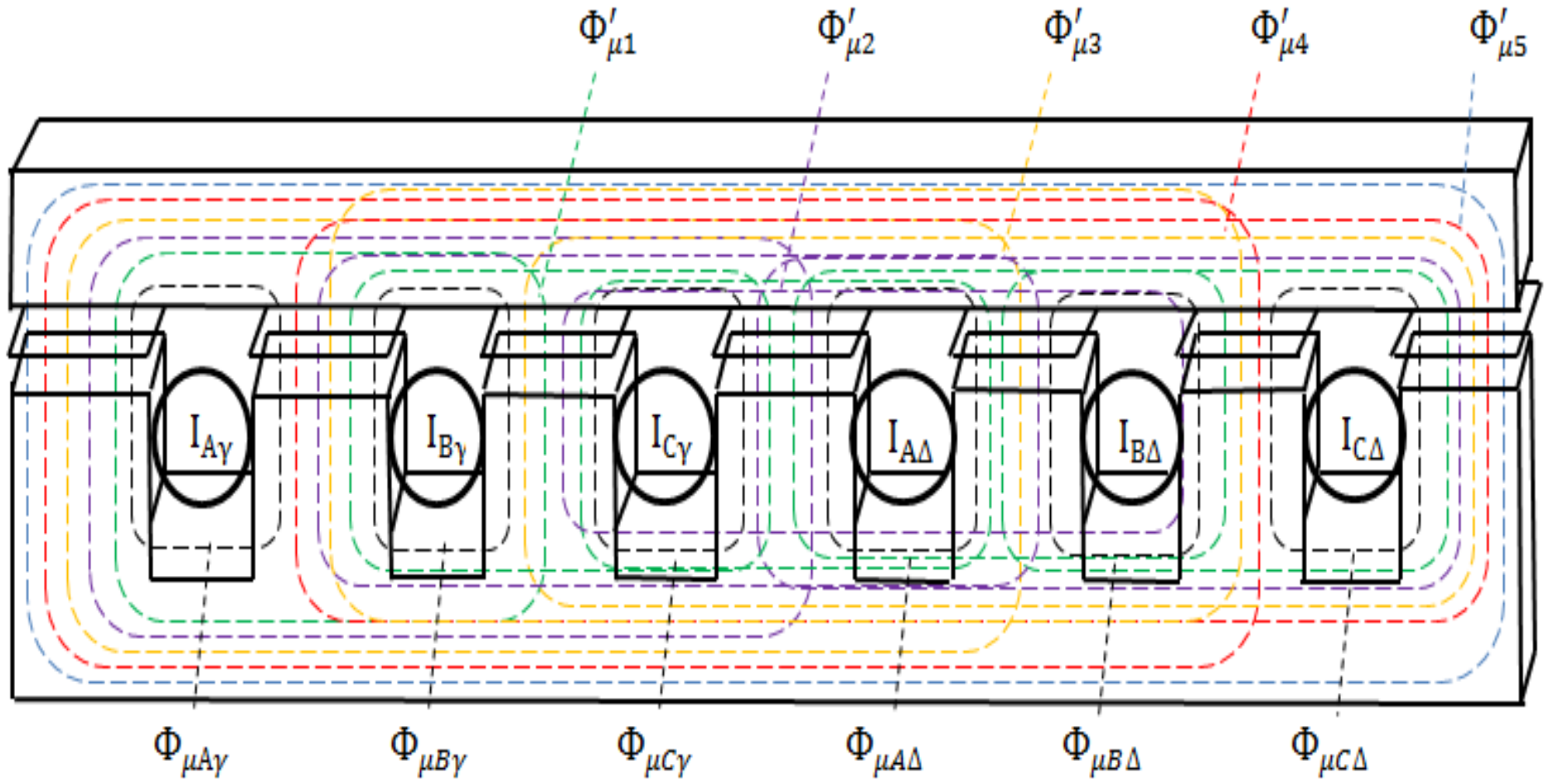
Keltirip ótilgen tok ózgerkish - datchikler elektr táminatı reaktiv quwatın qadaǵalaw hám basqarıw sistemasında bir neshe kemshiliklerge iye bolıp, stator bólegindegi shashiliw magnit aǵısları ózgeriwın seziw múmkinshiligi sheklengen hám ózgeriw procesi nominal júzimnen keyin siziqli emes statikalıq xarakteristikaǵa iye bolıp qaladı.

Usılay etip, tok ózgerkishleri strukturaların, olardıń 2-kestede keltirilgen qásiyetlerin salıstırmalı bahalaw hám kóp fazalı tok mánisin kernew kórinisindegi shıǵıw signalına elektromagnit ózgertiriwshi datchiktiń analizi soǵan alıp keldi, ETSları reaktiv quwatın qadaǵalaw hám basqarıw sisteması ushın dúzilisi, tayarlaw texnologiyasınıń ápiwayılıǵı, joqarı isenimliliǵı hám puxtalıǵı menen birlemshi tok mánisin kernew kórinistegi shıǵıw signalına ózgeritiretuǵın tok ózgerkishleri eń perspektivalı esaplanadı.

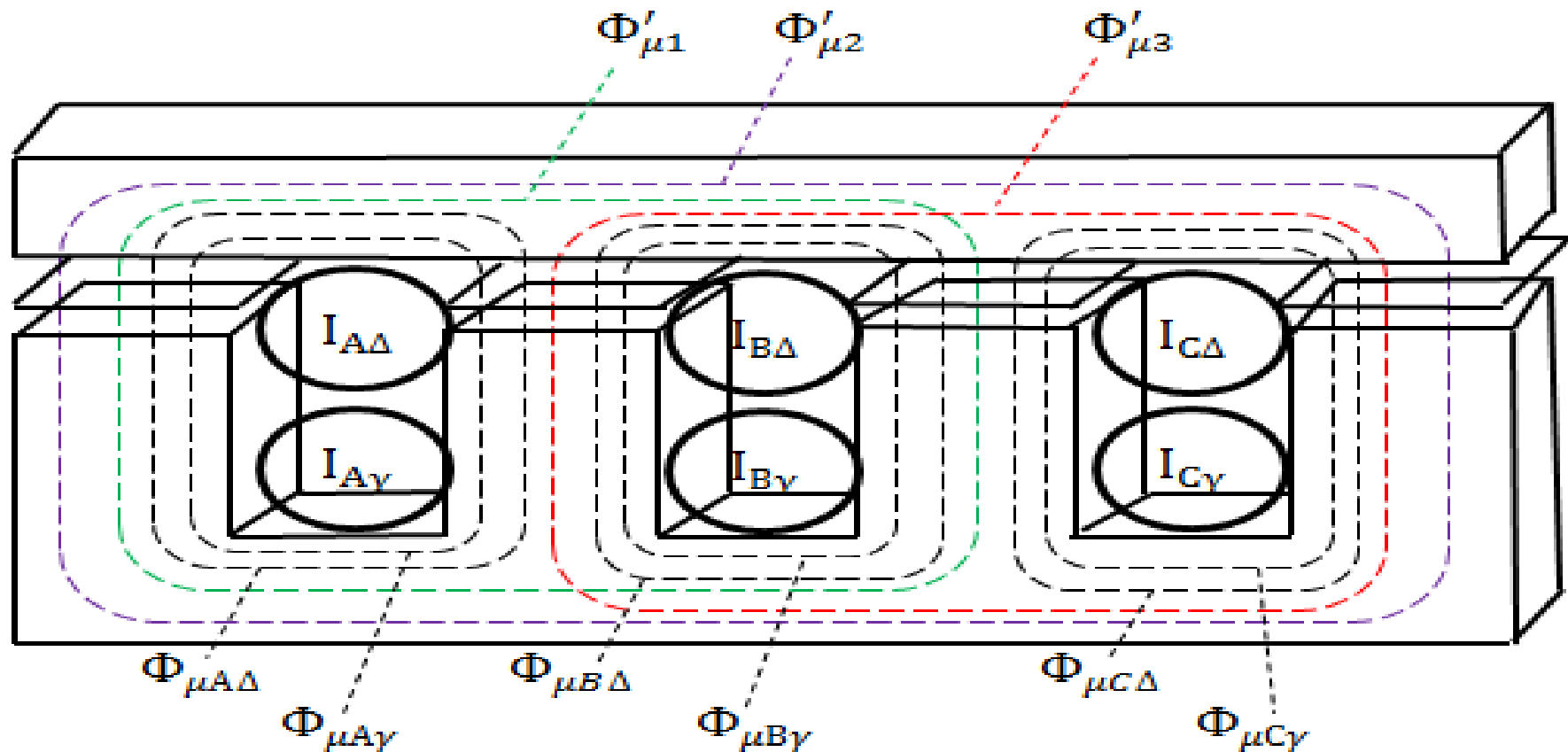
### ***1.5. Kóp fazalı toklar datchikleriniń dúzilıw principi***

Kóp fazalı birlemshi toklardı ekilemshi kernew kórinisindegi signal datchikleriniń seziw elementlerdiń ápiwayı yamasa tegis ólshew oram yamasa gerkon tiykarında qurıw principiniń tiykarǵı wazıypalarınan biri bolıp, elektr energiya uzatıw tarmaqlarındaǵı kóp fazalı toklardı bir waqtınıń ózinde ekilemshi elementke ózgeritiw tiykarında datchiktiń dúzilisin ápiwayılastırıw hám funksional múmkinshiligin keńeytiw bolıp tabıladı.

1.11-suwretde ETS PQ  $I_{A\gamma}, I_{B\gamma}, I_{C\gamma}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  - kóp fazalı birlemshi toklardı ekilemshi kernewge ózgeritiw datchiginiń magnit ózgeritiw elementlerin dúzilıw principi keltirilgen.



a)



b)

1.11-suwretde QTED ETS PQ  $I_{A\gamma}, I_{B\gamma}, I_{C\gamma}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  – kóp fazalı birlēmshi toklardı ekilemshi kernewge ózgertiw datchiginiń magnit ózgertiw elementlerin dúzilw principi keltirilgen

a) gorizontál bólekli dúzilme b) parallel bólekli dúzilme

Dúzılıw principi wazıypasınıń sheshimi sonnan ibarat, kóp fazalı birlemshi toklar tuwrısındaǵı maǵlıwmatlar ekilemshi kernew signalı kórinisindegi signallarǵa elektromagnit datchik - token kernewge ózgartiriwshi apparat, yaǵnıy bir ulıwma tıykarǵa iye bolǵan magnit shınjır kórinisindegi parallel sterjenler hám olar payda etken hawa aralıǵında jaylasqan seziw elementleri - ápiwayı yamasa tegis ólshew oramlar tiykarında ózgeriw processinde ámelge asırıladı.

ETS elektr uzatıw tarmaǵında reaktiv quwat derekleriniń kirisiw tokları – datchiginiń birinshi  $I_{A\gamma}$ , ekinshi  $I_{B\gamma}$  úshinshi  $I_{C\gamma}$ , tórtinshi  $I_{A\Delta}$ , besinshi  $I_{B\Delta}$ , yamasa altınshı  $I_{C\Delta}$  birlemshi oramlarınan faza tokları aqqanda, ulıwma tıyanaqlı magnit ózekte hám parallel ózeklerde  $\Phi_{\mu A\gamma}$ ,  $\Phi_{\mu B\gamma}$ ,  $\Phi_{\mu C\gamma}$ ,  $\Phi_{\mu A\Delta}$ ,  $\Phi_{\mu B\Delta}$  hám  $\Phi_{\mu C\Delta}$  magnit aǵıslar payda boladı, olar ózekler arasındaǵı hawa aralıǵınan da aǵıp ótedi. Magnit aǵıslar  $\Phi'_{\mu 1}$ ,  $\Phi'_{\mu 2}$ ,  $\Phi'_{\mu 3}$ ,  $\Phi'_{\mu 4}$ ,  $\Phi'_{\mu 5}$  paralel ózekler hám seziw elementlerin (ápiwayı yamasa tegis ólshew oramlar) kesip ótedi, bunda magnit aǵısları tómendegi ańlatpalardan anıqlanadı:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_{\mu A\gamma} = \frac{(I_{A\gamma} W_{\pi 1})}{R_{\mu 1\Sigma}} ; \\ \Phi_{\mu B\gamma} = \frac{(I_{B\gamma} W_{\pi 2})}{R_{\mu 2\Sigma}} ; \\ \Phi_{\mu C\gamma} = \frac{(I_{C\gamma} W_{\pi 3})}{R_{\mu 3\Sigma}} ; \\ \Phi_{\mu A\Delta} = \frac{(I_{A\Delta} W_{\pi 4})}{R_{\mu 4\Sigma}} ; \\ \Phi_{\mu B\Delta} = \frac{(I_{B\Delta} W_{\pi 5})}{R_{\mu 5\Sigma}} ; \\ \Phi_{\mu C\Delta} = \frac{(I_{C\Delta} W_{\pi 6})}{R_{\mu 6\Sigma}} ; \end{array} \right. \quad (1.8)$$

bul jerde  $I_{A\gamma}$ ,  $I_{B\gamma}$ ,  $I_{C\gamma}$ ,  $I_{A\Delta}$ ,  $I_{B\Delta}$ ,  $I_{C\Delta}$  - ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı elektr energiya uzatıw tarmaqlarınıń datchik birlemshi oramlari arqalı ótip atırǵan faza tokları,  $W_{\pi 1}$ ,  $W_{\pi 2}$ ,  $W_{\pi 3}$ ,  $W_{\pi 4}$ ,  $W_{\pi 5}$ ,

$W_{\pi 6}$  - birlamshi qozgátıwshi oramlardıń oramlar sanı (bul berilgen dúzilmede  $W_{\pi 1} = W_{\pi 2} = W_{\pi 3} = W_{\pi 4} = W_{\pi 5} = W_{\pi 6} = 1$  datchiktiń birlamshi orami tokı elektr uzatıw tarmaǵınıń bir fazasınan aǵadı hám odaǵı oramlar sanı bir).

$R_{\mu 1\Sigma} = R_{\mu 2\Sigma} = R_{\mu 3\Sigma} = R_{\mu 4\Sigma} = R_{\mu 5\Sigma} = R_{\mu 6\Sigma}$  - sáykes túrde magnit aǵısları  $\Phi_{\mu A\gamma}$ ,  $\Phi_{\mu B\gamma}$ ,  $\Phi_{\mu C\gamma}$ ,  $\Phi_{\mu A\Delta}$ ,  $\Phi_{\mu B\Delta}$  ba  $\Phi_{\mu C\Delta}$  jolındaǵı, hawa aralıqlar daǵı hám qosımsha ózek penen ulıwma magnit ózektiń magnit qarsılıǵı jıyındısı bolıp, tómendegishe anıqlanadı:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{\mu 1\Sigma} = 2 R_{\mu M} + R_{\mu \check{y}3} + R_{\mu \text{ хаво}}; \\ R_{\mu M} = \frac{l_{\mu M}}{(\mu S)}; \\ R_{\mu \check{y}3} = \frac{l_{\mu \check{y}3}}{(\mu F)}; \\ R_{\mu \text{ хаво}} = \frac{2\delta + \delta 1}{(\mu 0 F)}; \end{array} \right. \quad (1.9)$$

bul jerde:  $R_{\mu M}$  - magnit ótkiziwsheńliktegi bir ózektiń magnit qarsılıǵı;

$R_{\mu \check{y}3}$  - qosımsha ózek bólimleriniń magnit qarsılıǵı;

$l_{\mu M}$  - magnit ótkeriwshilerdiń aktiv uzunlıǵı hám olar boylap oqayotgan magnit aǵımı  $F\mu$ ;

$R_{\mu \check{y}3} = l_{\mu \check{y}3} / (\mu F)$  qosımsha ózek bólimleriniń magnit qarsılıǵı;

$l_{\mu \check{y}3}$  - bul qosımsha ózek bólimleriniń aktiv uzunlıǵı hám olar boyınsha oqayotgan  $F$  - magnit aǵımı;

$F = \Delta l_{\mu M} \Delta l_{\mu \check{y}3}$  - ulıwma magnit tıykardıń hám magnit ótkeriwshiniń parallel hám qosımsha ózek bólimleriniń kese kesim ústleri;

$R_{\mu \text{ hawa}}$  - magnit ótkeriwshiniń hawa aralıǵı, qosımsha ózek bólimleri hám qosımsha ózek bólimleriniń hawa aralıǵınıń magnit qarsılıǵı;

$\delta$  - ulıwma tıyanaqlı ózegi hám qosımsha bólimleri bolǵan magnit ótkeriwshiniń parallel túteleri arasındaǵı hawa aralıqlarınıń uzınlıǵı;

$\delta_1$  - qosımsha magnit ózek bólimleriniń shetlerindegi hawa aralıǵınıń uzınlıǵı;

$\pi = 3,14$  turaqlılıq.

Hár bir seziw elementi - ekilemshi oramlar shıǵıwındaǵı kernewler kóp fazalı toklar payda etip atırǵan magnit aǵısları úlkenligi, hawa aralıqları, qosımsha ózekler geometriyalıq ólshemleri, seziw elementleri oramlar sanı hám toklardıń ózgeriw jıyligina qaray belgilenedi. ETSları reaktiv quwatı shamalarınan bolǵan kóp fazalı birlmshi tokların qadaǵalaw hám basqarıw ushın ekilemshi kernew kórinisindegi signal menen támiyinleytuǵın ózgeriw datchikleriniń dúzilisi tiykarınan bir ulıwma tıyanaqlı hám parallel sterjenli elektromagnit, tiyisli jaǵdaylarda qosımsha qollaniliwshi sterjenler hám seziw elementlerinen dúziledi. Elektr energiya uzatıw tarmaǵınıń tok ótkeriwshilerinen birlmshi qozǵatıwshi oramlari retinde ulıwma magnit ózektiń oyiqlarina jaylastırıw tiykarında olardan reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı tokların payda etiwshi magnit aǵısları derekleri retinde paydalanılǵan. Ulıwma magnit ózek hám parallel ózekler arasında seziw elementleriniń jaylasıwı tiykarında birlmshi ólshew orami oramlar sanın kemeytiwge erisiledi hám olardıń sanı tok ótkiziwshileri fazaları sanına sáykes keledi. Datchiktiń dúzilisin ápiwayılastırıw faza tokların ótkeziwin támiyinleytuǵın birlmshi oramlarnıń ETS elektr tarmaǵındaǵı reaktiv quwat dereklerin uyqas túrde juldız yamasa úshmúyeshlik kórinisindegi jalǵanıwına qaray ámelge asıriladı hám reaktiv quwat dereklerin jalǵanıwlarına qaray islep shıǵarılıp atırǵan birlmshi toklardı ekilemshi kernewler kórinisindegi signalǵa ózgeriw principi hám múmkinshilikleri támiyinlenedi.



ETSniń reaktiv quwatı kóp fazalı birlemshi tokların qadaǵalaw hám basqarıwı ushın ekilemshi kernew kórinisindegi signal menen támiyinleytuǵın ózgertiw datchigında hár bir seziw elementleriniń shıǵıwındaǵı kernewleri  $U_{a\gamma}$ ,  $U_{b\gamma}$ ,  $U_{c\gamma}$ ,  $U_{a\Delta}$ ,  $U_{b\Delta}$ , hám  $U_{c\Delta}$  birlemshi toklar magnit ózekler degi payda etken magnit aǵıslardıń óz-ara tásirlesiwı esapqa alınǵan halda tómendegishe anıqlanadı:

$$\begin{cases} U_{a\gamma} = 4.44 f I_{A\gamma} W_1 \Phi_{\mu A\gamma}; \\ U_{b\gamma} = 4.44 f I_{B\gamma} W_2 \Phi_{\mu B\gamma}; \\ U_{c\gamma} = 4.44 f I_{C\gamma} W_3 \Phi_{\mu C\gamma}; \\ U_{a\Delta} = 4.44 f I_{A\Delta} W_4 \Phi_{\mu A\Delta}; \\ U_{b\Delta} = 4.44 f I_{B\Delta} W_5 \Phi_{\mu B\Delta}; \\ U_{c\Delta} = 4.44 f I_{C\Delta} W_6 \Phi_{\mu C\Delta}; \end{cases} \quad (1.10)$$

bul jerde  $W_{\text{яўч1}}$ ,  $W_{\text{яўч2}}$ ,  $W_{\text{яўч3}}$ ,  $W_{\text{яўч4}}$ ,  $W_{\text{яўч5}}$ ,  $W_{\text{яўч6}}$  - seziw elementleri oramlariniń oramlar sanı;

$f$  - ETS elektr tarmaǵı togınıń ózgeris jiyiligi.

Seziw elementleri token kernewge elektromagnit datchikler menen  $U_{a\gamma}$ ,  $U_{b\gamma}$ ,  $U_{c\gamma}$ ,  $U_{a\Delta}$ ,  $U_{b\Delta}$ , hám  $U_{c\Delta}$  shıǵıw kernewleri tegis ólshew oram jalǵanıwı tiykarında anıqlanadı.

Sonday etip, elektr energiya támiynatı sistemaları reaktiv quwatı shamalarınan bolǵan kóp fazalı birlemshi tokların qadaǵalaw hám basqarıwı ushın ekilemshi kernew kórinisindegi signallar menen támiyinleytuǵın ózgertiw datchiginiń  $\Phi_{\mu A\gamma}$ ,  $\Phi_{\mu B\gamma}$ ,  $\Phi_{\mu C\gamma}$ ,  $\Phi_{\mu A\Delta}$ ,  $\Phi_{\mu B\Delta}$  hám  $\Phi_{\mu C\Delta}$  magnit aǵısları, juldız tárizli jalǵanǵan bir fazalı  $I_{A\gamma}$ , eki fazalı  $I_{A\gamma}$ ,  $I_{B\gamma}$  yamasa  $I_{B\gamma}$ ,  $I_{C\gamma}$  hám úsh fazalı  $I_{A\gamma}$ ,  $I_{B\gamma}$ ,  $I_{C\gamma}$  hám úshmúyeshlik kórnisinde jalǵanǵan bir fazalı  $I_{A\Delta}$ , eki fazalı  $I_{A\Delta}$ ,  $I_{B\Delta}$  yamasa  $I_{B\Delta}$ ,  $I_{C\Delta}$  hám úsh fazalı  $I_{A\Delta}$ ,  $I_{B\Delta}$ ,  $I_{C\Delta}$  ETS elektr tarmaqları, ulıwma tıyanaqlı magnit ózek, oramniń úshlari, qosımsha ózekleri, elektr tarmaqları tokları muǵdarları tuwrısında  $U_{a\gamma}$ ,  $U_{b\gamma}$ ,  $U_{c\gamma}$ ,  $U_{a\Delta}$ ,  $U_{b\Delta}$ , hám  $U_{c\Delta}$  shıǵıw kernewleri signallar kórinisinde maǵlıwmatlar beredi. Seziw

elementleri (ápiwayı hám tegis ólshew ormlar) izolyatsiyalanǵan plastinkalarda háreketlenbeytuǵın etip orınlanǵan bolıp, olardıń shıǵıwlarında ma`nisi 20 Voltqasha bolǵan, yaǵnıy elektron hám mikroprotssesorli apparatlarınıń qayta islewi ushın normalanǵan  $U_{a\gamma}$ ,  $U_{B\gamma}$ ,  $U_{c\gamma}$ ,  $U_{a\Delta}$ ,  $U_{B\Delta}$ , hám  $U_{c\Delta}$  kernewler payda etedi.

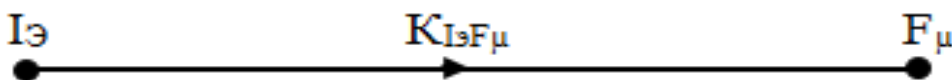
## II BAP. ELEKTR ENERGIYA TÁMINATÍ REAKTIV QUWATÍNÍN KÓP FAZALÍ BIRLEMŞHI TOKLARÍN EKILEMŞHI KERNEWGE ÓZGERTIRIW PROCESSIN HÁM DATCHIGIN MODELLESTIRIW

### *2.1. Qadaǵalaw hám basqarıw signalların ózgeriw processı hám datchiginiń jıynalǵan parametrli modeli hám izertlew algoritmı*

ETSlarda reaktiv quwat hám energiyanı islep shıǵarıw hám ózgeriwde birlemshi elektr toklardı ekilemshi normalanǵan kernew kórinisindegi shıǵıw signalına ózgeriw processı hám bul processste qatnasıw jetip atırǵan apparat hám datchiklerdi modellestiriw hám izertlew tómenдеgi algoritmlar tiykarında ámelge asırıladı:

1. ETSda elektr energiyanı ekilemshi signalǵa ózgeriwde támiyinleytuǵın túrli fizikalıq-texnikalıq tábiyatlı apparatlar - energiya dereklerindegi energiya hám signal ózgeriw processı, ol processste qadaǵalaw hám basqarıw datchigi dúzilisin modellestiriwde:

-  $I_E$  birlemshi elektr tokti  $F_\mu$  magnit jurgiziwshi kúshke ózgeriliwi processı modeli dúziledi (2.1-súwret):



*2.1- súwret.  $I_E$  Birlemshi elektr togin  $F_\mu$  magnit jurgiziwshi kúshke ózgeriliwi processı modeli.*

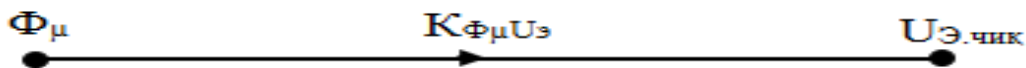
bul jerde  $K_{I_E F_\mu}$ -elektr shamanı magnit shamaǵa ózgeriliwiniń shınjırlarara baylanısıw koefitsenti.

- magnit ózgeriw bóleginiń  $F_\mu$  magnit jurgiziwshi kúshi hám  $I_E$  birlemshi elektr shınjır toǵı arasındaǵı baylanıslılıqtıń analitik kórinisi (2.1) dúziledi:

$$F_\mu = K_{I_E F_\mu} I_E, \quad (2.1)$$

bul jerde  $K_{I_e F_\mu}$  -  $F_\mu$  magnit jurgiziwshi kúshtıń  $I_E$  elektr shıńjır biremshı toghına ózgeritiliw processiniń shıńjırlarara baylanısıw koeffitsenti.

-  $F_\mu$  magnit aǵıs hám  $U_{E.shiq}$  ekilemshı shıǵıw kernewi - ekilemshı signal arasındaǵı óz-ara baylanısıw modeli dúziledi (2.2-súwret):



2.2- súwret.  $F_\mu$  magnit aǵımdı  $U_{E.shiq}$  ekilemshı shıǵıw kernewi - ekilemshı signalına ózgeritiliw processı modeli

- magnit ózgeriw bólegi  $F_\mu$  magnit aǵımın  $U_{E.shiq}$  ekilemshı shıǵıw kernewine ózgeritiliw processiniń analitik ańlatpası (2.2) dúziledi:

$$U_{E.shiq} = K_{F_\mu U_e} F_\mu , \quad (2.2)$$

bul jerde  $K_{F_\mu U_e}$  -  $F_\mu$  magnit aǵımınıń  $U_{E.shiq}$  ekilemshı shıǵıw kernewine ózgeritiliwiniń shıńjırlarara baylanısıw koeffitsenti.

2. ETSda reaktiv quwat deregi islep shıǵıp atırǵan  $I_E$  biremshı elektr tok kórinistegi elektr shamalar hám  $U_{E.shiq}$  ekilemshı shıǵıw kernew kórinisindegi signalǵa elektromagnit ózgerkish - datchik járdeminde ózgeritiliw processin jıynalǵan parametrli modellestiriwde:

ETSda reaktiv quwat derekleriniń biremshı elektr tok  $I_E$ , m. j. k., magnit aǵımı hám  $U_{E.shiq}$  shıǵıw ekilemshı kernewine ózgeriw processiniń jıynalǵan parametrli modeli graf kórinisinde 2.3-súwrettegidey dúziledi.



2.3- súwret. ETSda reaktiv quwat derekleriniń  $I_E$  biremshı elektr tok,  $F_\mu$  m. j. k.,  $F_\mu$  magnit aǵımı hám  $U_{E.shiq}$  shıǵıw ekilemshı

*kernewine ózgertiw processiniń jıynalǵan parametrli modeli.*

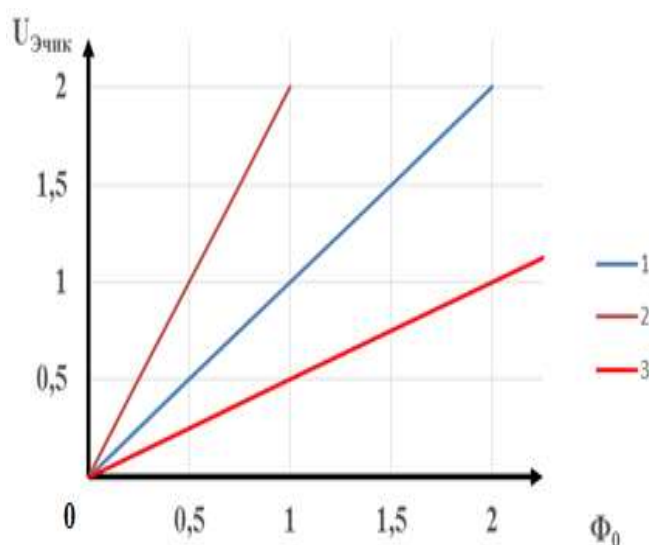
ETSida qadaǵalaw hám basqarıw signalı elektromagnit datchikler tiykarında payda qilinadi, bul jerde: ekilemshi signal  $U_{E.shiq}$  - shıǵıw elektr kernewine ózgertiw processiniń jıynalǵan parametrli modellestiriw algoritmı:

- birlemshi elektr tok -  $I_E$ , m.j.k., magnit aǵımı hám shıǵıwshı ekilemshi kernewge  $U_{E.shiq}$  ózgertiw processinde baylanıslıqlardıń analitik kórinisi (2.3) sáwlelentiriledi:

$$U_{E.shiq} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu} K_{IEF\mu} I_E , \quad (2.3)$$

bul jerde  $\Pi_{\mu}$  - datchik ózgertiw bóleginiń magnit parametri.

Payda etilgen (2.3) analitik model tiykarında shıjırlarara baylanısıwlar koeffitsentleri hám parametrlerdi ózgeritirip, ETSniń energiya deregi - reaktiv hám datchiktiń shıǵıw elektr kernewi arasındaqı baylanıslılıqlar izertlenedi. Izertlewler nátiyjeleri grafiklar kóriniste 2.4-súwretde keltirilgen.



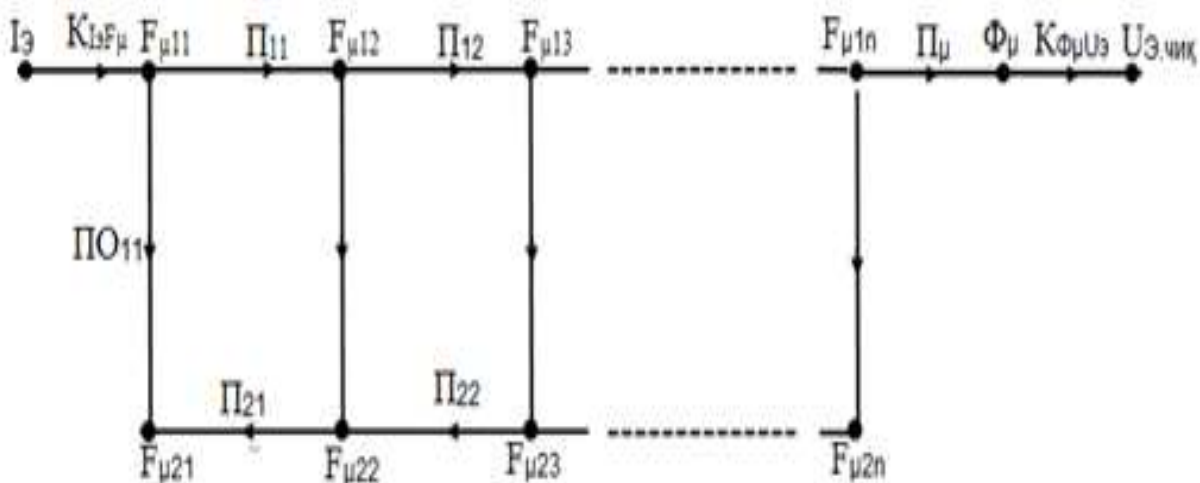
2.4- súwret. Birlemshi toklar payda etken magnit aǵıslar hám  $U_{E.shiq}$  shıǵıw elektr kernew arasındaqı baylanıslılıqlar grafikleri (bul jerde: 1-  $K_{F\mu UE}=1$ , 2-  $K_{F\mu UE}=2$  hám 3-  $K_{F\mu UE}=0,5$ )

3. ETSniń reaktiv quwat dereginiń birlmshi tođı -  $I_E$  hám datchiktiń shıǵıw kernewi arasındaǵı baylanıslılıqlardıń tarqalǵan parametrli energiya hám ekilemshi signalǵa ózgeris processı modeli - shıńjırtárizli modeli 2.5-súwretde keltirilgen:

$I_E$  birlmshi tođı hám datchik shıǵıw kernewi arasındaǵı baylanıslılıqlardıń tarqalǵan parametrli energiya hám signal ózgeris processı modeliniń - shıńjırtárizli modeliniń analitik kórinisi (2.4) dúziledi:

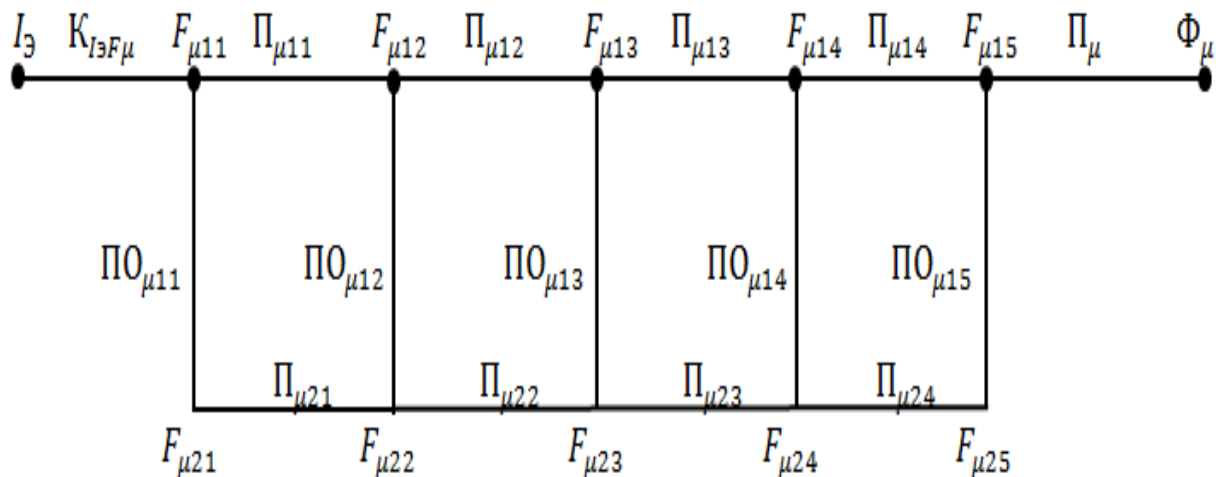
$$U_{E,shiq} = K_{F_{\mu}UE} \Pi_{\mu} W_{\mu} (F_{\mu 11}, F_{\mu 1n}) K_{IEF_{\mu}} I_E, \quad (2.4)$$

bul jerde  $W_{\mu} (F_{\mu 11}, F_{\mu 1n})$  - ETS birlmshi toklar hám datchiktiń shıǵıw elektr kernewi arasındaǵı baylanıslılıqlardıń tarqalǵan parametrli energiya hám signal ózgeris processı modeliniń birinshi - 1, 1... hám n -shi - 1, n túyinleri arasındaǵı datchiktiń signal ózgeriw bólegi uzatıw koeffitsenti.



2.5- súwret.  $I_E$  birlmshi tođı hám datchik shıǵıw kernewi arasındaǵı baylanıslılıqlardıń tarqalǵan parametrli energiya hám signal ózgeriw processiniń modeli

$W_{\mu} (F_{\mu 11}, F_{\mu 1n})$  uzatıw koeffitsenti mánisi  $n$  nıń muǵdarınan kelip shıǵıp anıqlanadı, mısalı  $n=5$ , modeldiń bólegi tómendegi 2.6 -súwretdegi kóriniste ańlatıladı.



2.6- súwret.  $W_\mu$  ( $F_{\mu11}, F_{\mu1n}$ ) uzatıw koeffitsenti ma`nisin anıqlawda bólekler sanı  $n=5$  muǵdarlı tarqalǵan parametrli modeldiń kórinisi

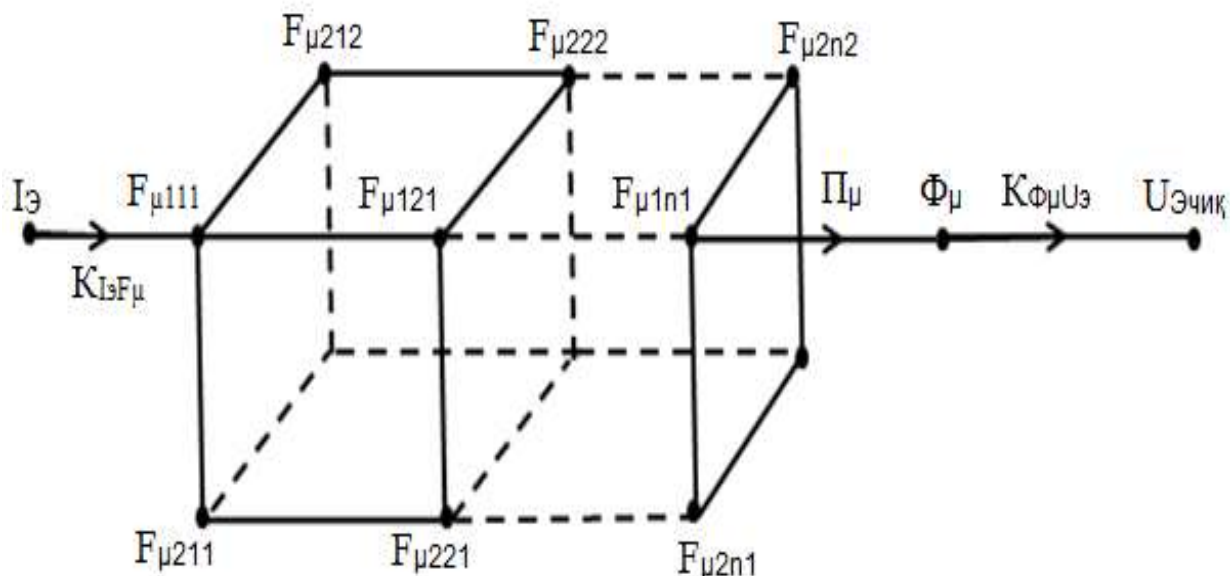
Model túyinlerin ańlatıwshı m. j. k. lerdı muǵdarların esaplaw imkaniyatın beretuǵın analitik ańlatpa - teńlemeler sisteması (2.5) payda etiledi:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{\mu11} - F_{\mu12}}{\Pi_{\mu11}} - \frac{F_{\mu11} - F_{\mu21}}{\Pi O_{\mu11}} = K_{IEF\mu} I_E; \\ \frac{F_{\mu12} - F_{\mu11}}{\Pi_{\mu11}} - \frac{F_{\mu12} - F_{\mu13}}{\Pi_{\mu12}} - \frac{F_{\mu12} - F_{\mu22}}{\Pi O_{\mu12}} = 0; \\ \frac{F_{\mu13} - F_{\mu12}}{\Pi_{\mu12}} - \frac{F_{\mu13} - F_{\mu14}}{\Pi_{\mu13}} - \frac{F_{\mu13} - F_{\mu23}}{\Pi O_{\mu13}} = 0; \\ \frac{F_{\mu14} - F_{\mu13}}{\Pi_{\mu13}} - \frac{F_{\mu14} - F_{\mu15}}{\Pi_{\mu14}} - \frac{F_{\mu14} - F_{\mu24}}{\Pi O_{\mu14}} = 0; \\ \frac{F_{\mu15} - F_{\mu14}}{\Pi_{\mu14}} - \frac{F_{\mu15} - F_{\mu25}}{\Pi O_{\mu15}} = -\Pi_\mu F_\mu. \end{array} \right. \quad (2.5)$$

Magnit aǵıslardıń birlemshı elektr toklarǵa  $F_\mu = f(I_E)$  baylanıshlıǵı,  $I_E$  toklar hám datchiktiń shıǵıw kernewi arasındaǵı baylanıshlıqtıń pútkil ózgeriw diapazonında sıızıqlılıǵı, magnit

ağıslardıń hawa aralıqları ólshemlerine sezilerli baylanıslılıǵı izertlewlerdiń tiykarǵı juwmaqların belgileydi.

ETSniń birlmshi toǵı  $I_E$  hám datchiktiń shıǵıw kernewi arasındaǵı baylanıslılıqlardıń tarqalǵan parametrli energiya hám signal ózgeris processı úsh ólshewli - kólemdegi modeli 2.7-súwretde keltirilgen.



2.7- súwret. Birlmshi toklar  $I_E$  hám datchik shıǵıw elektr kernewi arasındaǵı baylanıslılıqlardıń tarqalǵan parametrli energiya hám signal ózgeris processı úsh ólshewli - kólemdegi modeli

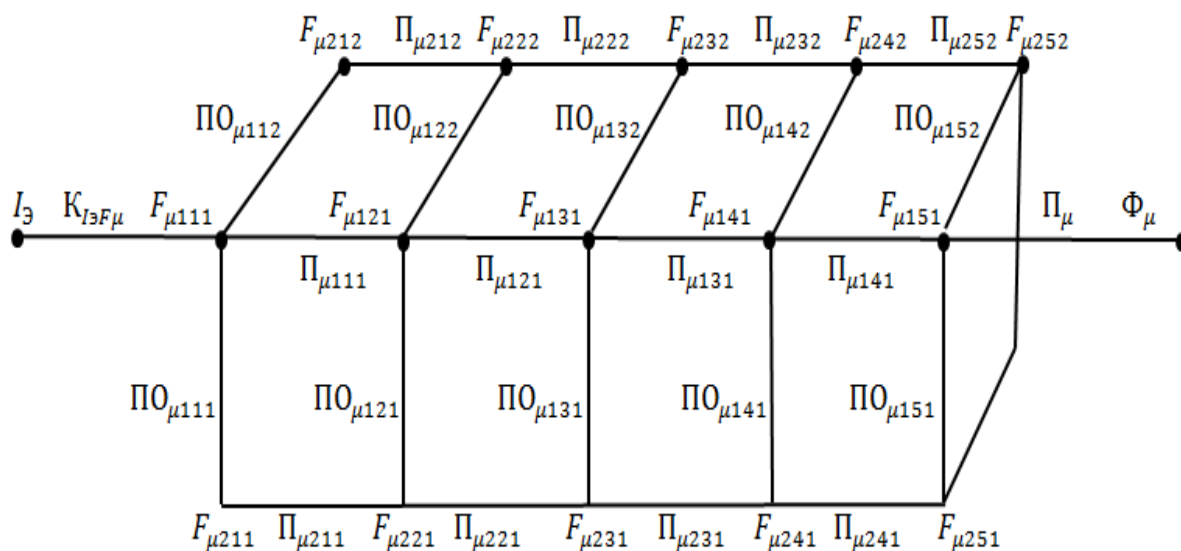
ETSniń reaktiv quwat deregi birlmshi tokları  $I_E$  hám datchiktiń shıǵıw elektr kernewler arasındaǵı baylanıslılıqlardıń tarqatǵan parametrli energiya hám signal ózgeris processı úsh ólshewli - kólemdegi modeli analitik ańlatpası (2.6) joqarıda keltirilgen algoritm tiykarında dúziledi hám tómenдеgi kóriniste izertlenedi:

$$U_{E.shiq} = K_{F_\mu U_E} \Pi_\mu W_\mu (F_{\mu 1,1,1}, F_{\mu 1,n,1}) K_{I_E F_\mu} I_E, \quad (2.6)$$



bul jerde  $W_\mu (F_{\mu 1,1,1}, F_{\mu 1,n,1})$  – tarqatqan parametrli energiya hám signal ózgeris processi úsh ólshewli kólemli modeliniń 1, 1, 1; hám 1, n, 1 túyinleri arasındaǵı datchiktiń signal ózgeris bólegi uzatıw koeffitsenti.

$W_\mu (F_{\mu 1,1,1}, F_{\mu 1,n,1})$  - uzatıw koeffitsentiniń mánisi n - niń muǵdarınan kelip shıǵıp anıqlanadı, mısalı n=5 bolǵan hal ushın model 2.8-súwretdegi kóriniste ańlatiladı.



2.8- súwret.  $W_\mu (F_{\mu 1,1,1}, F_{\mu 1,n,1})$  uzatıw koeffitsenti ma`nisi n bólekler sanı n=5 muǵdarındaǵı tarqatqan parametrli modeli

Model túyinlerin ańlatiwshı m. j. k. lardi muǵdarların esaplaw imkaniyatın beretuǵın analitik ańlatpa - teńlemeler sisteması (2.7) payda etiledi [16, 26]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 121}}{\Pi_{\mu 111}} - \frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 211}}{\Pi O_{\mu 111}} - \frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 212}}{\Pi O_{\mu 112}} = K_{IEF\mu} I_E; \\ \frac{F_{\mu 121} - F_{\mu 111}}{\Pi_{\mu 111}} - \frac{F_{\mu 121} - F_{\mu 131}}{\Pi_{\mu 121}} - \frac{F_{\mu 121} - F_{\mu 221}}{\Pi O_{\mu 121}} - \frac{F_{\mu 121} - F_{\mu 222}}{\Pi O_{\mu 122}} = 0; \\ \frac{F_{\mu 131} - F_{\mu 121}}{\Pi_{\mu 121}} - \frac{F_{\mu 131} - F_{\mu 141}}{\Pi_{\mu 131}} - \frac{F_{\mu 131} - F_{\mu 231}}{\Pi O_{\mu 131}} - \frac{F_{\mu 131} - F_{\mu 232}}{\Pi O_{\mu 132}} = 0; \\ \frac{F_{\mu 141} - F_{\mu 131}}{\Pi_{\mu 131}} - \frac{F_{\mu 141} - F_{\mu 151}}{\Pi_{\mu 141}} - \frac{F_{\mu 141} - F_{\mu 241}}{\Pi O_{\mu 141}} - \frac{F_{\mu 141} - F_{\mu 242}}{\Pi O_{\mu 142}} = 0; \\ \frac{F_{\mu 151} - F_{\mu 141}}{\Pi_{\mu 141}} - \frac{F_{\mu 151} - F_{\mu 251}}{\Pi O_{\mu 151}} - \frac{F_{\mu 151} - F_{\mu 252}}{\Pi O_{\mu 152}} = -\Pi_{\mu} F_{\mu} . \end{array} \right. \quad (2.7)$$

Tarqalgan magnit parametrli datchik ushin islep shıgılğan izertlew modeli hám ámeliy esaplawlarǵa tıykarlanıp juwmaq shıǵarıw múmkin, elektromagnit datchiklerdegi processlerdi izertlewde úsh ólshewli tarqalgan parametrli elektr shınjırlar teoriyası matematikalıq apparatınan paydalanıw usınıs etiledi.

Graf modeliniń bólekler sanı n=5 teń bolǵanda ózgeriw bólegi dúzilisiniń geometriyalıq ólshemlerin ózgeriw tiykarında bólistirilgen parametrli graf modeli járdeminde magnit aǵımın ózgeris muǵdarınıń esaplaw anıqlıǵın 0, 9 - 1, 8 % ge shekem asırıw múmkinshiligine erisiledi.

## ***2.2. Reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların ekilemshi kernewlerge ózgeriw processi modeli***

ETS reaktiv quwat dereklerinen bolǵan kosinusli kondensator batareyalar shıǵıwındaǵı kernewge uyqas reaktiv quwat (2.8) islep shıǵarıladı [14,15]:

$$Q_{ky} = U_2 \omega C, \quad (2.8)$$

bul jerde U - kernew (V),  $\omega = 2\pi f$  - múyesh tezlik (ster),

f- jiylik (Gts),

C- kondensator siyimi (F).

Reaktiv quwat dereginiń jalǵanıwǵa uyqas túrde (2.8) formulada keltirilgen kernew  $U = U_F$ - faza yamasa  $U = U_{\pi}$ -sızıqlı kernew kórinisinde dep alsaq.

Ol jaǵdayda:

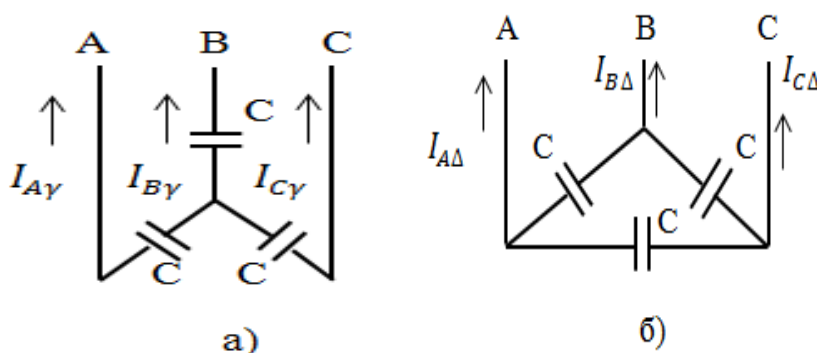
$$Q_{ky\gamma} = U_F^2 \omega c; \quad \text{yamasa} \quad Q_{ky\Delta} = U_{\pi}^2 \omega c. \quad \text{boladi} \quad (2.9)$$

Eger  $U_{\pi} = \sqrt{3}U_F$  ekenligi itibarǵa alınsa (2.9) tómendegishe boladı

$$Q_{ky\Delta} = 3Q_{ky\gamma}. \quad (2.10)$$

ETSda reaktiv quwat derekleri 2.9 -súwretde kórsetilgen tiykarda  $\gamma$ -juldızsha yamasa  $\Delta$ -úshmúyesh kóriniste jalǵanıwı usınıs etiledi.

2.9-súwretde keltirilgen hallardı kóp fazalı reaktiv toklar bólek qadaǵalaw, basqarıw hám ózgertiwge tiyisli datchikler qollanıwın talap etedi [16, 18].



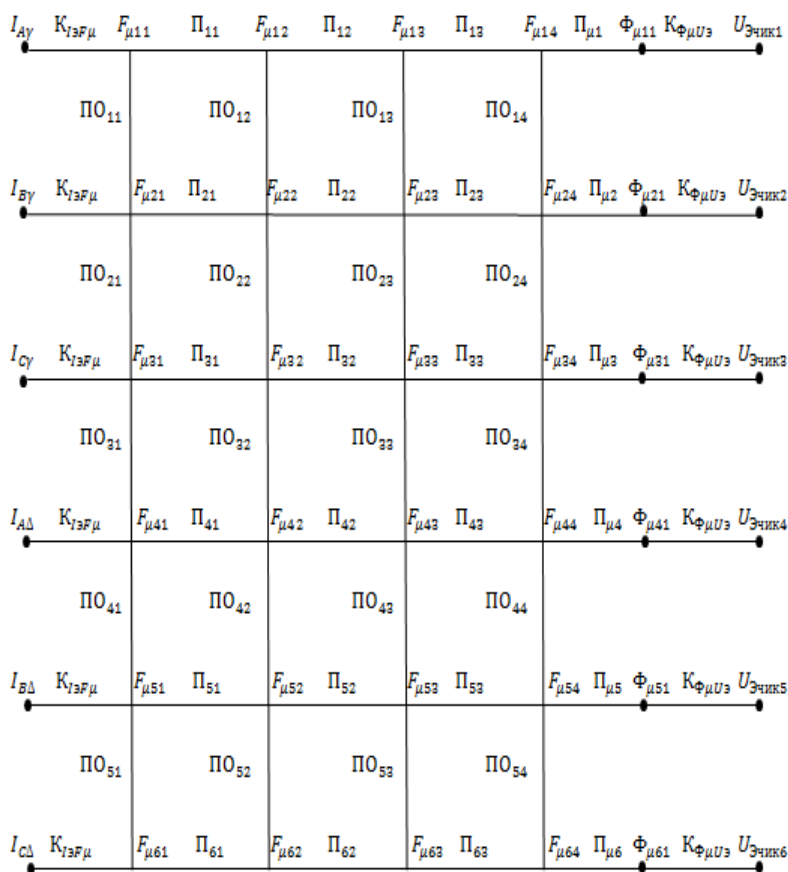
2.9-súwret. Reaktiv quwat derekleri islep shıǵarıp atırǵan faza tokları

a)  $\gamma$ -juldızsha jalǵanǵan sxema. b)  $\Delta$ -úsh muyeshlik formasında jalǵanǵan sxema

Kóp fazalı birlemshi toklardı ekilemshi kernew kórinistegi signalǵa ózgertiwde túrli fizikalıq-texnikalıq effektlerin qollaw múmkinshiligi ámeldegi, bayqaǵısh element retinde izolyatsion plastinkada jaylasqan ápiwayı yamasa tegis oramlar datchiklerdiń

sızıqlı shıǵıw klassifikaciyaǵa, joqarı anıqlıqǵa, ózgermeytuǵın bayqaǵıshlıqtı támiyinleytuǵın bólekke iye hám toklardıń nátiyjeli ózgeriliwin támiyinleydi. Bunda seziw elementleri - ápiwayı yamasa tegis ólshew oramların datchik magnit ózegi hám sterjen payda etiwshi hawa aralıqta jaylastırıp shıǵıwda kernew kórnisindegi signal payda etiwdi támiyinleydi.

2.1. hám 2.2. bólimde keltirilgen, joqarı formallasqan hám ayqınlıqtı támiyinleytuǵın graf modeller tiykarında reaktiv quwat derekleri tárepinen islep shıǵılǵan  $I_{AY}, I_{BY}, I_{CY}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  toklar payda etken magnit aǵıslar magnit ózeklerde (sterjenlerde)  $F_{\mu}$  - magnit jurgiziwshi kúshler (m. j. k.), olar payda etken  $F_{\mu}$  - seziw elementlerin kesip ótetuǵın magnit aǵıslar tiykarında birlemshi toklardı  $U_{Eshiq}$  - ekilemshi kernewlerine ózgeriw processı hám datchik strukturasınıń modeli dúziledi (2.10-súwret).



2.10-súwret. Kóp fazalı birlemshi toklardı ekilemshi kernewlerge ózgeriw processı hám datchik ózgeriw bólegi modeli

Magnit ózekte kóp fazalı birlemshi toklar magnit jurgiziwshi kúshler payda etedi. Olardıń óz-ara munasábetleri graf model túyinleri m. j. k. lerge baylanıslı túrde (2.11) tómendegishe ańlatıladı

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 12}}{\Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 21}}{\Pi O_{\mu 11}} = K_{IEF\mu} I_{A\gamma}; \\ \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 11}}{\Pi O_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 22}}{\Pi_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 31}}{\Pi O_{\mu 21}} = K_{IEF\mu} I_{B\gamma}; \\ \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 21}}{\Pi O_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 32}}{\Pi_{\mu 31}} + \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 41}}{\Pi O_{\mu 31}} = K_{IEF\mu}; \\ \frac{F_{\mu 41}-F_{\mu 31}}{\Pi O_{\mu 31}} + \frac{F_{\mu 41}-F_{\mu 42}}{\Pi_{\mu 41}} + \frac{F_{\mu 41}-F_{\mu 51}}{\Pi O_{\mu 41}} = K_{IEF\mu} I_{A\Delta}; \\ \frac{F_{\mu 51}-F_{\mu 41}}{\Pi O_{\mu 41}} + \frac{F_{\mu 51}-F_{\mu 52}}{\Pi_{\mu 51}} + \frac{F_{\mu 51}-F_{\mu 61}}{\Pi O_{\mu 51}} = K_{IEF\mu} I_{B\Delta}; \\ \frac{F_{\mu 61}-F_{\mu 51}}{\Pi O_{\mu 51}} + \frac{F_{\mu 61}-F_{\mu 62}}{\Pi_{\mu 61}} = K_{IEF\mu} I_{C\Delta}. \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Datchiktiń ulıwma magnit ózegi (sterjenleri) hám hawa aralıqlardan aǵıp atırǵan  $F_{\mu i,j,k}$  magnit aǵıslardı izertlew ushın model tiykarında analitik ańlatpaları (2.12), (2.13), (2.14), (2.15), (2.16), (2.17) hám (2.18) dúziledi.

$i=1; j=\overline{2,3}$  –tuyinler ushin:

$$\frac{F_{\mu ij} - F_{\mu i-1,j}}{\Pi_{\mu ij}} + \frac{F_{\mu ij} - F_{\mu i+1,j}}{\Pi O_{\mu i+1,j}} + \frac{F_{\mu ij} - F_{\mu i+1,j}}{\Pi_{\mu i+1,j}} = 0; \quad (2.12)$$

$i=6; j=\overline{2,3}$  – tuyinler ushin:

$$\frac{F_{\mu ij} - F_{\mu i-1,j}}{\Pi_{\mu ij}} - \frac{F_{\mu ij} - F_{\mu i-1,j}}{\Pi O_{\mu i-1,j}} - \frac{F_{\mu ij} - F_{\mu i+1,j}}{\Pi_{\mu i+1,j}} = 0; \quad (2.13)$$

$i=\overline{1,6}; j=\overline{2,3}$  – tuyinler ushin:

$$\frac{F_{\mu ij} - F_{\mu i-1,j}}{\Pi_{\mu ij}} + \frac{F_{\mu ij} - F_{\mu ij-1}}{\Pi O_{\mu ij-1}} + \frac{F_{\mu ij} - F_{\mu i+1,j}}{\Pi_{\mu i+1,j}} + \frac{F_{\mu ij} - F_{\mu i+1,j}}{\Pi O_{\mu i+1,j}} = 0; \quad (2.14)$$

$i=1\div 6; \quad j=1\div 4$ – tuyinler ushin:

$$F_{\mu ij} = K_{IEF\mu} I_i; \quad (2.15)$$

$$F_{\mu i} = \Pi_{\mu i} F_{\mu i}; \quad (2.16)$$

$$U_{Eshiqi} = K_{F\mu UE} F_{\mu i}; \quad (2.17)$$

$$\Pi_{ij} = \frac{l_{\mu ij}}{\mu_{ij} S_{ij}}; \quad (2.18)$$

$$\Pi O_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{\mu O_{ij} S \delta_{ij}}; \quad (2.19)$$

bul jerde  $\Pi O_{ij} = \Pi O_{\mu ij}$  – magnit ózek (sterjen) hám hawa aralıq magnit parametrleri - qarsılıqları.

Ózgertiw processi hám bólegi dúzilisi túyinlerindegi  $F_{\mu i, j}$  m. j. k. lerdı datchik magnit ózegi (sterjen) hám hawa aralıq geometriyalıq ólshemleri hám magnit sıńırıwsheńligine baylanıslı halda elektrotexnikada belgili Om hám Kirxgof nızamları teńlemeleri tiykarında anıqlanadı.

Datchiktiń ózgertiw sistemasınıń magnit ózegi (sterjen) hám hawa aralıqlarındağı mánisleri tómendegishe anıqlanıwshı magnit ağıslar hám seziw elementlerinde olarğa uyqas shıǵıw signalları - kernewleri (2.20 ) hám (2.21) payda etiledi:

$i=\overline{1,6}$  - tuyinler ushin:

$$F_{\mu i} = \Pi_{\mu i} F_{\mu i4}; \quad (2.20)$$

$$U_{eshiqi, j} = K_{F\mu UE} F_{\mu i} = 4,44 f w_i F_{\mu i}; \quad (2.21)$$

bul jerde  $w_i$ - seziw elementi oramları sani.

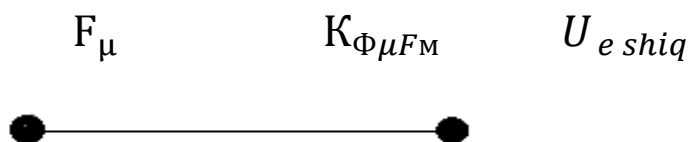
Payda etilgen graf modeli jáne onıń analitik ańlatpası datchik bólimleriniń dúzilisine qaray magnit ózek hám hawa aralıǵındağı  $F_{\mu i, j}$  m. j. k. lar hám  $F_{\mu i}$  magnit ağımları tarqalıwın izertlew imkaniyatın beredi. Modeldiń  $i=1$  ústinin xarakterleytuǵın  $F_{\mu 1j}$  magnit ağıslar magnit ózektiń ulıwma bóleginen boladı, 2-ústindegi ağıslar tarqalıp atırǵan aǵımdı, 2 hám 3 ústindegiler -

seziw elementin kesip ótip atırǵan, 4- ústindegiler datchik seziw elementin kesip ótip atırǵan magnit aǵıslardı belgileydi.

### ***2.3. Tokti kernewge ózgertiw datchiginiń dúzilw principleriniń fizikalıq-texnikalıq effektleri modeli***

Kóp fazalı birlemshi toklardı ekilemshi kernew kórinistegi shıǵıw signalına ózgertiw apparatları dúzilw principlerinde tiykarınan tómendegi fizikalıq - texnikalıq effektler qollanıladı:

1.  $F_{\mu}$  magnit aǵıs hám  $U_{e\ shiq}$  ekilemshi shıǵıw kernewi - ekilemshi signal arasındadıǵı óz-ara baylanıswdıń elektromagnit induksiya effekti:



2.11- súwret.  $F_{\mu}$  magnit aǵımınıń ótkeriwshi toǵın  $U_{e\ shiq}$  magnit jurgiziwshi kúshke ózgeriw processi elektromagnit induksiya effekti graf modeli

Elektromagnit induksiya nızamı kórinisindegi fizikalıq - texnikalıq effekti graf modeli (2.11-súwret) tiykarında payda etilgen anatilik kórinisler tómendegishe (2. 22) hám (2. 23) ańlatıladı:

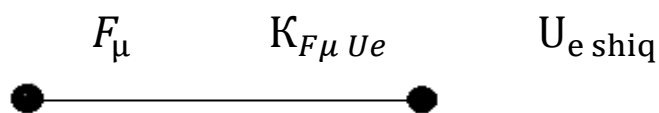
$$U_E = w \left( \frac{dF_{\mu}}{dt} \right); \quad (2.22)$$

$$K_{F_{\mu}U_e} = w; \quad (2.23)$$

bul jerde  $U_E$  – elektromagnit induksiya kernewi (0-20 V),  $F_{\mu}$  – magnit aǵımı (Wb.),  $w$  – ekilemshi oramniń oramlar sani (1-100 oram).

2.  $F_{\mu}$  magnit aǵım hám  $U_{e\ shiq}$  ekilemshi shıǵıw kernewi -

ekilemshi signal arasındağı óz-ara baylanısıw magnit ağımnıń ótkeriwshisine háreketleniwshi induktsiya etilgen kernewge baylanıslılıq effektiniń graf modeli:



## 2.12 -súwret. Magnit ağımnıń ótkeriwshisine háreketleniwshi induktsiyalanğan kernewge baylanıslılıq effekti graf modeli

$F_\mu$  Magnit ağımnıń  $U_{e\ shiq}$  ekilemshi shıǵıw kernewine ózgertiliwiniń shıńjırlar ara baylanısıwı magnit ağımnıń ótkeriwshisine háreketleniwshi induktsiyalanğan kernewge baylanıslılıq effektiniń graf modeli (2.12-súwret) analitik kóriniste tómendegishe ańlatıladı:

$$U_E = - B_\mu l U_M ; \quad (2.24)$$

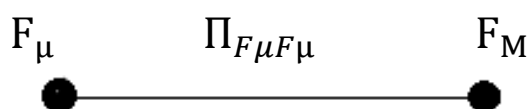
$$B_\mu S = F_\mu ; \quad (2.25)$$

$$U_E = - l U_M F_\mu / S ; \quad (2.26)$$

$$K_{F_\mu U_E} = -(l U_M) / S ; \quad (2.27)$$

bul jerde  $U_M$ — ótkiziwshi tezligi (m/sek.),  $l$ - ótkiziwshi uzınlıǵı (m),  $B_\mu$ - magnit induktsiya ( $0.3-1\ \text{Wb/m}^2$ ),  $S$ - magnit ótkizgishtiń kesim maydanı ( $0.001-0.1\ \text{m}^2$ ),  $U_E$ - kernew ( $0-20\ \text{V}$ ).

3.  $F_\mu$  magnit ağımnıń ótkeriwshi togınıń  $F_M$  ámeldegi kúshke ózgeris processi effekti:



2.13- súwret.  $F_\mu$  magnit ağımnıń ótkeriwshi togınıń  $F_M$  ámeldegi kúshke ózgertiliwi processi graf modeli



$F_\mu$  magnit aǵımın  $F_M$  ámeldegi kúshke ózgeriliwiniń shıńırlarara baylanıslılıq effekti graf modeli (2.13-súwret) analitik kóriniste tómendegishe ańlatıladı:

$$F_M = \Pi_{F_\mu F_M} F_\mu ; \quad (2.28)$$

$$F_M = B_\mu l I_E ; \quad (2.29)$$

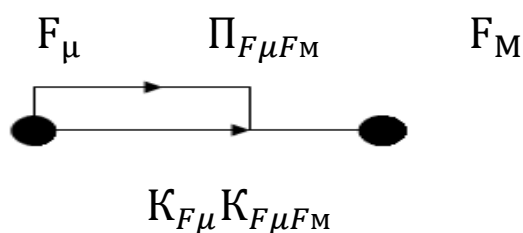
$$B_\mu S = F_\mu ; \quad (2.30)$$

$$F_M = l I_E F_\mu / S ; \quad (2.31)$$

$$\Pi_{F_\mu F_M} = l I_E w / S ; \quad (2.32)$$

bul jerde  $\Pi_{F_\mu F_M}$  datchik ózgertiw bóleginiń magnit parametri,  $F_M$  - ótkeriwshi toǵı menen ámeldegi kúsh (H),  $B_\mu$  - magnit induktsiya ( $\text{Wb/m}^2$ ),  $l$  - ótkizgish uzınlığı (m),  $I_E$  - ótkizgishdegi tok kúshi (A),  $S$  - magnit ótkizgishtiń kesim maydanı ( $\text{m}^2$ ),  $w$  – katushkadaǵı oramlar sanı (oram).

4.  $F_\mu$  magnit jurgiziwshi kúshitiń  $F_M$  ámeldegi mexanik kúshke ózgeriliw processi modeliniń elektromagnit kúsh effekti:



2.14- súwret.  $F_\mu$  magnit jurgiziwshi kúshitiń  $F_M$  ámeldegi mexanik kúshke ózgeriliw processi graf modeli

$F_\mu$  magnit jurgiziwshi kúshitiń  $F_M$  ámeldegi mexanik kúshke ózgeriwshi processi elektromagnit kúsh effektiniń (magnit maydanında jaylasqan ferromagnit dene, elektromagnit kúsh ámeldegi signaldıń payda etiliwi) graf modeliniń (2. 14-súwret) analitik ańlatpası tómendegi kóriniske iye boladı:

$$F_M = dW_\mu / dX_M = d(0.5 F_\mu F_\mu) / dX_M =$$

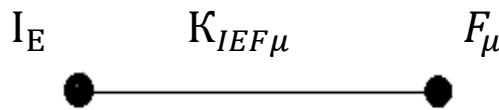
$$= d((0.5 F_{\mu\mu_0}^2 B X_M / (Z_0))) / dX_M = F_{\mu\mu_0}^2 B / 4\delta; \quad (2.33)$$

$$K_{F\mu} K_{F\mu F_M} = \mu_0 B / 4\delta; \quad (2.34)$$

$$K_{F\mu F_M} = F_{\mu\mu_0}^2 B / 4\delta; \quad (2.35)$$

bul jerde  $dW_{\mu}$ - magnit maydan energiyasınıń ózgeriwi (Dj),  $dX_M$ - elektromagnit elementtiń koordinataları ózgeriwi (m),  $B$ - magnit ótkizgishtiń eni (m),  $\delta$ - hawa aralıq geometriyalıq ólshemleri.

1.  $I_E$  elektr toginiń  $F_{\mu}$  magnit jurgiziwshi kúshke ózgartiriw elektromagnit kúsh effekti:



2.15- súwret.  $I_E$  elektr toginiń  $F_{\mu}$  magnit jurgiziwshi kúshke ózgartiriliwi elektromagnit kúsh effekti graf modeli

$I_E$  elektr toginiń  $F_{\mu}$  magnit jurgiziwshi kúshke ózgeris processi elektromagnit kúsh effektiniń graf modeli (2.15-súwret) analitik kórinisi tómendegishe:

$$F_M = K_{IEF\mu} I_E; \quad (2.36)$$

Shinjırlarara baylanısıw koeffitsenti:

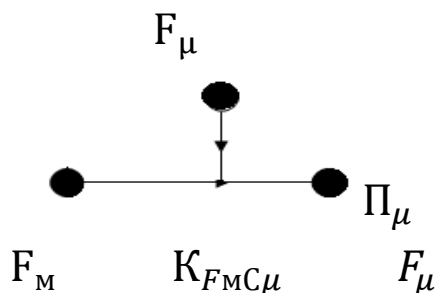
$$K_{IEF\mu} = B_{\mu} l; \quad (2.37)$$

bul jerde  $F_M$ - tok ótkeriwshige tásir etiwshi kúshi (H),  $B_{\mu}$ - magnit induktsiya (Tl),  $l$ - ótkeriwshi uzınlıǵı (m),  $I_e$ - ótkizgishtegi tok kúshi (A).

2.  $F_{\mu}$  magnit jurgiziwshi kúsh hám  $F_M$  mexanik tásir astında  $\Pi_{\mu}$  magnit sıyımlılıqtıń ózgeriwi effekti:

$F_{\mu}$  magnit jurgiziwshi kúsh hám  $F_M$  mexanik tásir astında  $\Pi_{\mu}$

magnit sıyımlılıq (parametr) ózgeriwi effekti graf modeli (2.16 - súwret) analitik kórinisi tómendegishe ańlatıladı:



2.16- súwret.  $F_\mu$  magnit jurgiziwshi kúsh hám  $F_M$  mexanik tásir astında  $\Pi_\mu$  magnit sıyımlılıq ózgeriwi effekti graf modeli

$$F_\mu = \Pi_\mu F_\mu = K_{F_M C_\mu} F_M F_\mu = F_{\mu_0} S / \delta; \text{ yamasa } F_\mu = F_\mu C_\mu; \quad (2.38)$$

$$K_\mu = \mu_0 b / \delta F_M. \quad (2.39)$$

Shıńjırlarara baylanısıw koeffitsenti tómendegishe anıqlanadı.

$$K_{F_M \Pi_\mu} = \mu_0 b / \delta, \quad (2.40)$$

bul jerde  $F_\mu$ - magnit aǵıs (Wb),  $F_M$ - amper-qozǵatqısh aylanıwı (A ayl),  $S$ - aǵıs jolınıń maydanı ( $m^2$ ),  $\delta$ - aǵıs jolındaǵı hawa aralıǵınıń qalıńlıǵı (m),  $b$ - hawa aralıǵınıń eni (m).

Magnit ótkizgishtiń ózgeriw bólegi háreketlentirilgende magnit ótkizgishtiń magnit kólemi háreketke proporsional túrde ózgeriwi anıqlanadı.

### III BAP. KÓP FAZALI TOKLARDI KERNEWGE ÓZGERTIRIW DATSHIKLARINIŃ TIKARǴI XARAKTERISTIKALARI

---

#### ***3.1. Kóp fazalı birlemshi toklar datchiklerdiń statikalıq xarakteristikaları***

Izertlewdiń II-bapta usınıs etilgen materiallardan kórinip turıptı, olda qadaǵalaw hám basqarıwdı nátiyjeli shólkemlestiriw ushın elektr támiynatı sistemaları (ETS) reaktiv quwatlarınıń kóp fazalı birlemshi tokların ekilemshi kernewge ózgertiw datchikleriniń xarakteristikalarına baylanıslı eken.

ETS reaktiv quwatlarınıń kóp fazalı birlemshi tokların ekilemshi kernew kórinisindegi shıǵıw signalına ózgertiw datchiktiń statikalıq, dinamikalıq xarakteristikaları, metrologik hám isenimli jumıs jaǵdayı kórsetkishleri tiykarǵı xarakteristikalar retinde izertlenedi.

Izertlew nátiyjeleri boyınsha qalıplestirilgen fizikalıq hám matematikalıq modeller tiykarında ETS reaktiv quwatı kóp fazalı birlemshi tokların ekilemshi kernewge ózgertiw datchiginiń statikalıq xarakteristikaları magnit bóleklerdiń jıynalǵan hám tarqalǵan parametrli modelleri tiykarında hám signaldı ózgertiw processslerin dodalaw kóz qarasinan ámelge asırıladı.

Toktıń ma`nisin kernew kórinistegi shıǵıw signalına ózgeretuǵın datchiklerdiń statikalıq xarakteristikaların analiz qılıwda signal kórinistegi  $U_{eshiq}$  shıǵıw kernewlerdi  $I_E$  kóp fazalar birlemshi kirisiw toklarına, bayqaǵısh elementlerdiń kese kesimi maydanına -  $S_{CE}$ , seziwsheń elementlerdiń (ápiwayı yamasa tegis ólshew oramlarin) oramları sanına -  $w_{CE}$ , sonıń menen birge magnit ózek hám magnit sterjen arasındadı, yaǵnıy seziwsheń element jaylasıwshı hawa aralıǵınıń geometriyalıq ólshemleriniń  $l_{x.o}$  ózgeris diapazonlarına hám magnit ózektiń parametrlerine baylanıslılıǵın anıqlaw talap etiledi.

ETS reaktiv quwatın qadaǵalaw hám basqarıwında qollanılıwshi kóp fazalı birlemshi toklardı ekilemshi kernewge ózgertiw datchiginiń statikalıq xarakteristikaları tarqalǵan parametrli graf modeli (2.12-súwret) tiykarında qáliplestirilgen tómendegishe kórinistegi analitik ańlatpa arqalı anıqlanadı:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 U_{a\gamma} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 1} (W(F_{\mu 11}, F_{\mu 14}) K_{IEF \mu} I_{A\gamma} + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 14}) K_{IEF \mu} I_{B\gamma} + \\
 + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 14}) K_{IEF \mu} I_{C\gamma} + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 14}) K_{IEF \mu} I_{A\Delta} + \\
 + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 14}) K_{IEF \mu} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 14}) K_{IEF \mu} I_{C\Delta}); \\
 U_{b\gamma} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 21}, F_{\mu 24}) K_{IEF \mu} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 24}) K_{IEF \mu} I_{A\gamma} + \\
 + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 24}) K_{IEF \mu} I_{C\gamma} + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 24}) K_{IEF \mu} I_{A\Delta} + \\
 + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 24}) K_{IEF \mu} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 24}) K_{IEF \mu} I_{C\Delta}); \\
 U_{c\gamma} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 31}, F_{\mu 34}) K_{IEF \mu} I_{C\gamma} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 34}) K_{IEF \mu} I_{A\gamma} + \\
 + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 34}) K_{IEF \mu} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 34}) K_{IEF \mu} I_{A\Delta} + \\
 + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 34}) K_{IEF \mu} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 34}) K_{IEF \mu} I_{C\Delta}); \\
 U_{a\Delta} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 41}, F_{\mu 44}) K_{IEF \mu} I_{A\Delta} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 44}) K_{IEF \mu} I_{A\gamma} + \\
 + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 44}) K_{IEF \mu} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 44}) K_{IEF \mu} I_{C\gamma} + \\
 + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 44}) K_{IEF \mu} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 44}) K_{IEF \mu} I_{C\Delta}); \\
 U_{b\Delta} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 5} (W(F_{\mu 51}, F_{\mu 54}) K_{IEF \mu} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 54}) K_{IEF \mu} I_{A\gamma} + \\
 + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 54}) K_{IEF \mu} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 54}) K_{IEF \mu} I_{C\gamma} + \\
 + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 54}) K_{IEF \mu} I_{A\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 54}) K_{IEF \mu} I_{C\Delta}); \\
 U_{c\Delta} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 5} (W(F_{\mu 61}, F_{\mu 64}) K_{IEF \mu} I_{C\Delta} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 64}) K_{IEF \mu} I_{A\gamma} + \\
 + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 64}) K_{IEF \mu} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 64}) K_{IEF \mu} I_{C\gamma} + \\
 + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 64}) K_{IEF \mu} I_{A\Delta} + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 64}) K_{IEF \mu} I_{B\Delta});
 \end{array} \right.$$

bul jerde  $K_{F\mu UE} = \omega_{2\gamma} - F_{\mu}$  magnit aǵıslar hám  $U_{eshiq}$  shıǵıw elektr kernewleri arasındaqı shınjırlarara baylanıshlıq koefficiyenti;

$$\Pi_{\mu j} = \frac{\mu_0 F_j}{\delta_{\mu j}} \quad (j=\overline{1,6}) - \text{datchiktiń } U_{eshiq} \text{ shıǵıw kernewleri}$$

payda etilip atırǵan ózgertiw bólegi magnit parametri ( $\mu_0$  – seziw elementi ornatiǵan hawa aralıqlarınıń magnit sińdiriwsheńligi;

$$\mu_0 = 1,25 * 10^{-6} \Gamma/\text{M});$$

birlemshi toklardıń nominal bahalarında shıǵıw kernewin normalanǵan (20 V) bolıwı talap etiliwi tiykarında  $\omega_{2q}=1\div 20$  oramǵa shekem bahalardı qabil etedi;

F- seziw elementleri ornatiǵan hawa aralıqlarınıń kese kesim maydanı, mısalı :  $ab=0.01*0.01 \text{ m}^2$ ;

$\delta_{\mu}$  – seziw elementleri ornatiǵan hawa aralıqlar biyiklikleri (m);

$W(F_{\mu ij}, F_{\mu in})$  – magnit ózgertiw bóleginiń uzatıw funksiyası (2.13) formula sheshimi tiykarında anıqlanadı;

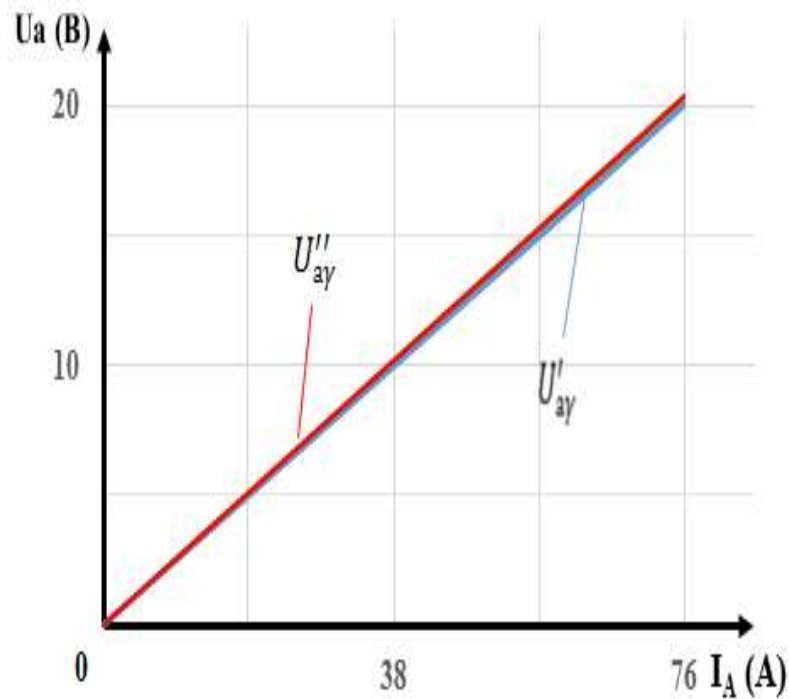
$K_{IEF\mu} - \omega_{jk} - I_E$  – ETS birlemshi oramlardan aǵipatırǵan toklar hám magnit ózgertgishte payda bolǵan  $F_{\mu}$  – m.j.k. arasındadı shıńjırlarara baylanıslılıq koeffitsenti, ádetde  $\omega_{jk} = 1$ ;

$I_{A\gamma}, I_{B\gamma}, I_{C\gamma}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  – ETS reaktiv quwatlarınıń dereklerin tarmaqlarǵa  $\gamma$  ba  $\Delta$  sxemalar boyınsha jalǵanǵan reaktiv quwat derekleri tárepinen jetkizip berilip atırǵan kóp fazalı birlemshi reaktiv toklar (A).

Jeke túrde  $U_{a\gamma}, U_{b\gamma}, U_{c\gamma}, U_{a\Delta}, U_{b\Delta}, U_{c\Delta}$  shıǵıw kernewleriniń muǵdarları tiykarınan ózlerine uyqas reaktiv quwatlarınıń elektr tarmaǵı fazalarınan alıp atırǵan  $I_{A\gamma}, I_{B\gamma}, I_{C\gamma}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  toklarǵa baylanıslı boladı :

$$\begin{cases} U_{a\gamma} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 1} (W(F_{\mu 11}, F_{\mu 14}) K_{IEF \mu} I_{A\gamma}); \\ U_{b\gamma} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 21}, F_{\mu 24}) K_{IEF \mu} I_{B\gamma}); \\ U_{c\gamma} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 3} (W(F_{\mu 31}, F_{\mu 34}) K_{IEF \mu} I_{C\gamma}); \\ U_{a\Delta} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 4} (W(F_{\mu 41}, F_{\mu 44}) K_{IEF \mu} I_{A\Delta}); \\ U_{b\Delta} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 5} (W(F_{\mu 51}, F_{\mu 54}) K_{IEF \mu} I_{B\Delta}); \\ U_{c\Delta} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 6} (W(F_{\mu 61}, F_{\mu 64}) K_{IEF \mu} I_{C\Delta}). \end{cases} \quad (3.2)$$

Joqarıda keltirilgen (3.1 hám 3.2) formulalar tiykarında QTED ETS tarmaqları RQ deregi bir fazası toǵı hám datchiktiń shıǵıw kernewi arasındaǵı baylanıshlıq statikalıq xarakteristika kórinisinde 3.1-súwretde keltirilgen.

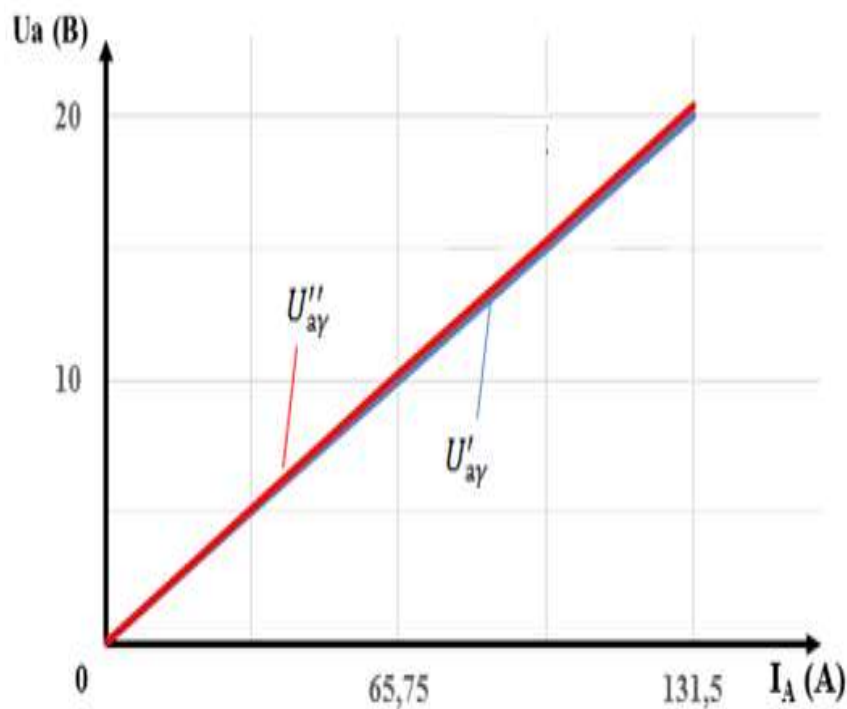


3.1- súwret. ETS tarmaǵı reaktiv quwatları bir fazası birlemshi tokları hám datchik shıǵıw kernewi arasındaǵı baylanıshlıqlardıń statikalıq xarakteristikaları (reaktiv quwat deregi juldız formada jalǵanǵan)

bul jerde  $U'_{a\gamma}$  - jıynalǵan parametrli model tiykarında alınǵan shıǵıw kernewiniń ózgeris xarakteristikası (3.1 teńlemeler

sisteması tiykarında  $I_{A\gamma}$  - tokqa saykes shıǵıw kernewiniń ózgeriwi, yaǵnıy reaktiv quwat deregi juldızsha jalǵanǵan),  $U''_{a\gamma}$  - tarqalǵan parametrli model tiykarında alınǵan shıǵıw kernewiniń ózgeris xarakteristikası (3.2 teńlemeler sisteması tiykarında  $I_{A\gamma}$  togına saykes shıǵıw kernewiniń ózgeriwi statikalıq xarakteristikaları).

ETS tarmaǵınıń birlemshi tokları hám datchik shıǵıw ekilemshi kernewi arasındaqı baylanıslılıq tómendegishe izertlenedi (3.2-súwret).



3.2- súwret. ETS tarmaǵı reaktiv quwatı derekleriniń birlemshi tokları hám ekilemshi shıǵıw kernewi arasındaqı baylanıslılıqtıń statikalıq xarakteristikaları (reaktiv quwat deregi úshmúyeshlik tarizde jalǵanǵan)

bul jerde  $U'_{a\gamma}$  - jıynalǵan parametrli model tiykarında alınǵan shıǵıw kernewiniń ózgeriwi xarakteristikası (3.1 teńlemeler sisteması tiykarında  $I_{A\Delta}$  - tokqa saykes shıǵıw kernewiniń

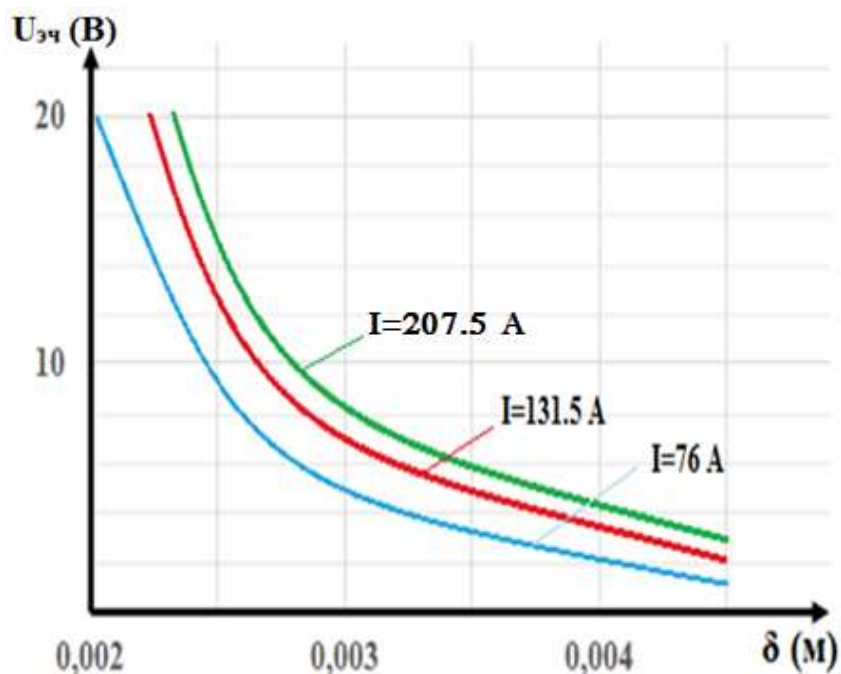


ó zgeriwi, yaǵnıy reaktiv quwat deregi úshmúyeshlik formada jalǵanǵan ),

$U''_{ay}$  - tarqalǵan parametrli model tiykarında alınǵan shıǵıw kernewiniń ózgeriwi xarakteristikası (3.2 teńlemeler sisteması tiykarında  $I_{A\Delta}$  togına uyqas shıǵıw kernewiniń ózgeriwi statikalıq xarakteristikaları ).

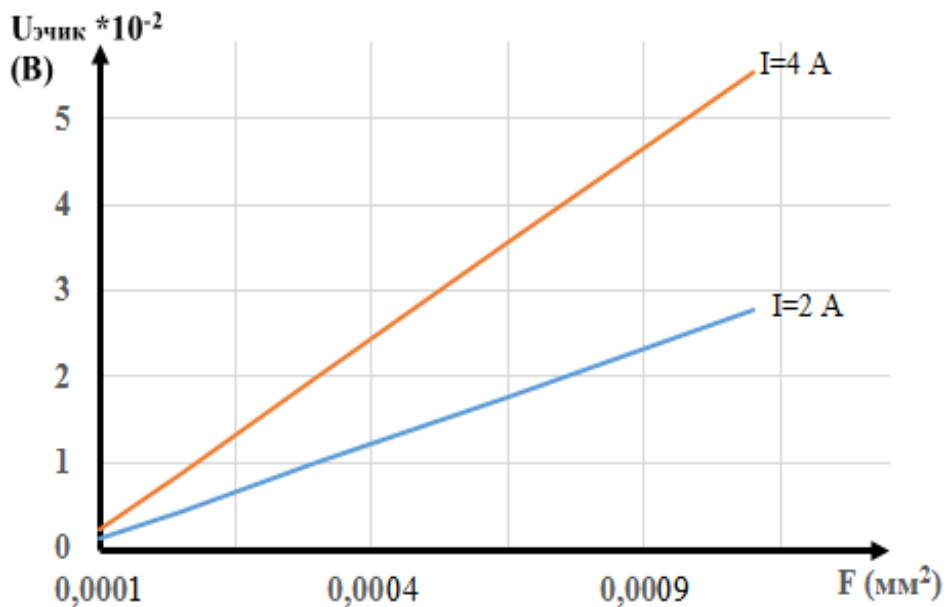
(3.1) hám (3.2) súwretlerde keltirilgen statikalıq xarakteristikalar tiykarında ETS RQ kóp fazalı biremshi toklarınıń ekilemshi kernewge ózgertiw datchiginiń metrologik xarakteristikaları: ózgertiw anıqlıǵı, shıǵıw xarakteristikasınıń sıziqlılıǵı, datchik seziwsheńliktiń pútkil ózgertiw diapazonında birdeyligi sıyaqlı kórsetkishleri izertlenedi.

Datchiktaǵı hawa aralıǵınıń geometriyalıq ólshemleriniń kirisiw toǵın túrli bahalarında shıǵıw kernewine tásiri 3.3- súwretde keltirilgen.



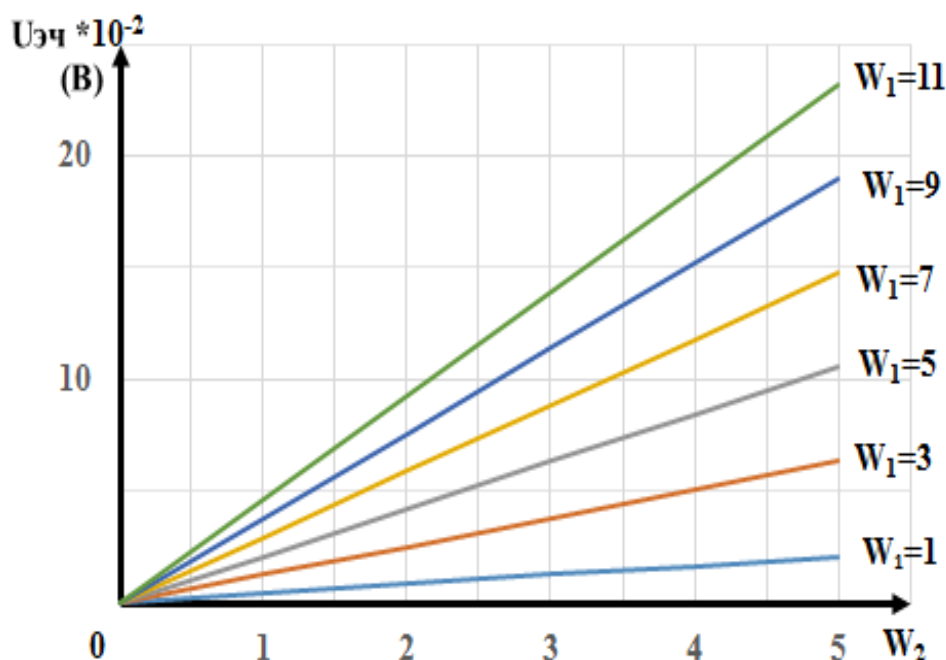
3.3- súwret. Datchiktiń hawa aralıǵınıń geometriyalıq ólshemleriniń, kirisiw toǵın túrli bahalarında, shıǵıw kernewine tásiri

Datchiktiń bayqaǵısh elementiniń kesimi maydanın  $F$  ekilemshi kernew  $U_{eshiq}$  kórinistegi shıǵıw signalına baylanıslılıǵın ózgeriwi 3.4-súwretde keltirilgen.



3.4- súwret. Datchiktiń seziwsheń elementi kesimi maydanın  $F$  ekilemshi kernew  $U_{eshiq}$  kórinistegi shıǵıw signalına baylanıslılıǵın ózgeriwi

Reaktiv quwat derekleriniń birlemshi toǵı  $I_A=76$  A seziw bólegi oramlar sanınıń túrli bahalarında shıǵıw kernewiniń ózgeriwi (3.5-súwretde) kórsetilgen.



3.5- súwret. Reaktiv quwat derekleriniń birlemshi toǵı  $I_A = 76$  A bolǵanında datchiktiń seziw bólegi oramlar sanınıń túrli bahalarında shıǵıw kernewiniń ózgerisleri

Datchiktiń graf hám analitik modelleri tiykarında birlemshi toklardı ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw anıqlıǵı III-baptın 3-bóliminde datchiktiń ózgeriw anıqlıǵı kórinisindegi metrologik xarakteristika retinde izertlengen.

### ***3.2 Kóp fazalı birlemshi toklar datchikleriniń dinamikalıq xarakteristikaları***

ETSniń reaktiv quwatı derekleri kóp fazalı tokları datchiginiń dinamikalıq xarakteristikalarınıń tiykarǵı xarakteristikalarından biri bolıp, olar kirisiw birlemshi toklarınıń túrli baha hám parametrleri, sırtqı tásirler bahaları, elektr júkleme parametrleri hám basqa tásirlerge kernew kórinisindegi shıǵıw signallarınıń waqıt boyınsha ózgeriw hám baylanıslılıqların sáwlelendiredi.

Datchiklerdiń dinamikalıq xarakteristikaları graf model tiykarında qáiplestirilgen analitik ańlatpalar, datchiktiń dinamikalıq jaǵdaylarda islewin xarakteristikalaytuǵın, júz bolıp atırǵan fizikalıq-texnikalıq processslerdiń pútkil kompleksi, sonıń menen birge reaktiv quwat derekleri hám ETS elektr tarmaǵınıń jumıs jaǵdayların esapqa alǵan halda teoriyalıq izertlewler aparıw imkaniyatın berdi.

Datchiktiń dinamikalıq jaǵdayı shıǵıw signalın kirisiw shama hám parametrlar menen baylanıstıratuǵın datchiktiń dúzilıw sxeması, ózgeriw bóleginiń kese, bóylama hám vertikal bólistirilgen parametrleriniń qásiyetleri tiykarında anıqlanǵan. ETSniń reaktiv quwat derekleri tarmaqları kóp fazalı birlemshi toklarınıń shamaları hám parametrleri datchikleriniń jumıs jaǵdaylarında kirisiw shamalar muǵdar hám faza boyınsha saykes emes hám sızıqlı emes ózgeris qásiyetlerge iye bolǵanlıǵı sebepli dinamikalıq xarakteristikalarda tupten ózgeriwı múmkin.

Túrli qásiyetli muǵdarlardıń óz-ara tásirin esapqa alǵan halda seziw elementinen alinipatırǵan signaldıń dinamikalıq qásiyetlerin úyreniw datchiktiń birlemshi hám ekilemshi signal ózgeriw bóleklerinde, signal uzatıw elementlerinde hám de ótiw processslerin xarakteristikalaytuǵın differentsial teńlemelerin qáiplestiriwde júzege keletuǵın qıyınshılıqlar sebepli izertlewlerdiń aldınǵı matematikalıq apparat - graf modeli jáne onıń analitik ańlatpaları tiykarında alıp barıldı.

Dinamikalıq processsti tolıq súwretlew ushın ETS reaktiv quwat derekleri jetkizip berip atırǵan energiya aǵısları hám tokları tiykarında datchikdaǵı ótiw processin analiz etiliwi kerek.

Datchiktiń dúzilisinde kóp fazalı birlemshi toklar aǵıp atırǵan oramlardıń jaylasıwı, magnit ózgertkishtiń forması hám seziw bóleginiń túri, oramlar sanı hám tiyisli parametrleri tiykarında shıǵıw kernewin izertlewdiń analitik ańlatpası tómendegishe formulada aniqlanadı:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{E\check{q}a}(t) = -R_{E\check{c}E1}I_{E\check{q}a}(t) - \frac{L_{E\check{c}E1}dI_{E\check{q}a}(t)}{dt} + \frac{W_2dF_B(t)}{dt} + \frac{W_3dF_C(t)}{dt}; \\ U_{E\check{q}B}(t) = -R_{E\check{c}E1}I_{E\check{q}B}(t) - \frac{L_{E\check{c}E2}dI_{E\check{q}B}(t)}{dt} + \frac{W_{E\check{c}E2}dF_A(t)}{dt} + \\ \quad + \frac{W_{E\check{c}E3}dF_C(t)}{dt}; \\ U_{E\check{q}C}(t) = -R_{E\check{c}E1}I_{E\check{q}C}(t) - \frac{L_{E\check{c}E3}dI_{E\check{q}C}(t)}{dt} + \frac{W_1dF_A(t)}{dt} + \frac{W_3dF_B(t)}{dt}; \end{array} \right. \quad (3.3)$$

bul jerde  $R_{E\check{c}E1}$ ,  $R_{E\check{c}E2}$ ,  $R_{E\check{c}E3}$ ,  $L_{E\check{c}E1}$ ,  $L_{E\check{c}E2}$ ,  $L_{E\check{c}E3}$ ,  $M_{EA}$ ,  $M_{EB}$ ,  $M_{EC}$  - aktiv qarsılıq, seziw bóleginiń induktivligi, birlemshi oram hám seziw oramlari arasındaǵı óz-ara induktivlik,  $W_{E\check{c}E1}$ ,  $W_{E\check{c}E2}$ ,  $W_{E\check{c}E3}$  - seziw bóleginiń oramlar sani,  $I_{E\check{q}A}$ ,  $I_{E\check{q}B}$ ,  $I_{E\check{q}C}$  - seziw bóleklerindegi ekilemshi shıǵıw tokları.

Eger ETS reaktiv quwat derekleriniń elektr tarmaqları induktivlikleri  $L_{EI} = L_{EII} = L_{EIII} = 0$  bolsa, tarmaqlarda kóp fazalı birlemshi toklardıń birlemshi ma`nisiniń asıwı gúzetiledi, keyin magnit aǵıslar ózgertiw bóleklerinde uyań aste turaqlı sinusoidalǵa erisedi.

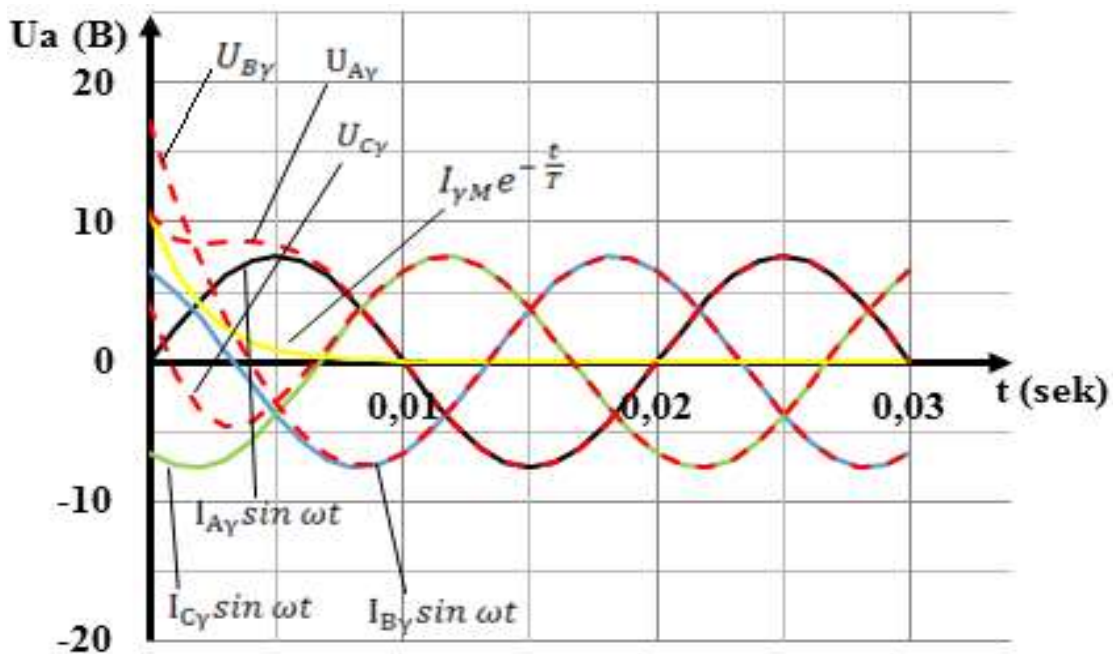
ETS reaktiv quwat derekleri retinde keń qollaniliwshi hám ornatılǵan nominal reaktiv quwatları  $Q_{NKKU} = 50$  kVar bolǵan kosinusli kondensator apparatlarınıń juldızsha sxeması (1. 3 a-Súwret ) boyınsha jalǵanǵan hám bunda elektr energiya uzatıw tarmaǵınıń kernewleri  $U_{EK A} = U_{EK B} = U_{EK C} = 220$  V bolǵanda, reaktiv quwat deregi tarmaqlarınan oǵan teń bolǵan hám datchiktiń birlemshi oramında aǵıwshi toklar  $I_{EK A} = I_{EK B} = I_{EK C} = 131$  Amper muǵdarǵa iye boladı. Ornatılǵan nominal reaktiv quwatları  $Q_{NKKU} = 50$  kVarli kosinusli kondensator apparatlarınıń kernewleri  $U_{EK A} = U_{EK B} = U_{EK C} = 380$  V, bolǵanda hám olar úshmúyeshlik turdegi sxema (1. 3 b-Súwret ) boyınsha jalǵanǵanda, tarmaqtan aǵıpatırǵan hám datchiktiń birlemshi oramlarına kiretuǵın toklar  $I_{EK A} = I_{EK B} = I_{EK C} = 76$  Amperge teń boladı. ETS reaktiv quwat derekleri jalǵanǵan elektr tarmaǵınıń induktivlikleri  $L_{EI} = L_{EII} = L_{EIII} = 10^{-3}$  Gn, sıyımlılıqları  $C_{EA} =$

$C_{EB} = C_{EC} = 10^{-7}$  F, toliq qarsılıqları  $Z_{EA} = Z_{EB} = Z_{EC} = 0,289$  OM bolğanda datchiktiń ózgeriw bóleginde payda bolğan magnit ağıslarınıń maksimal muğdarları tómendegishe anıqlanadı:

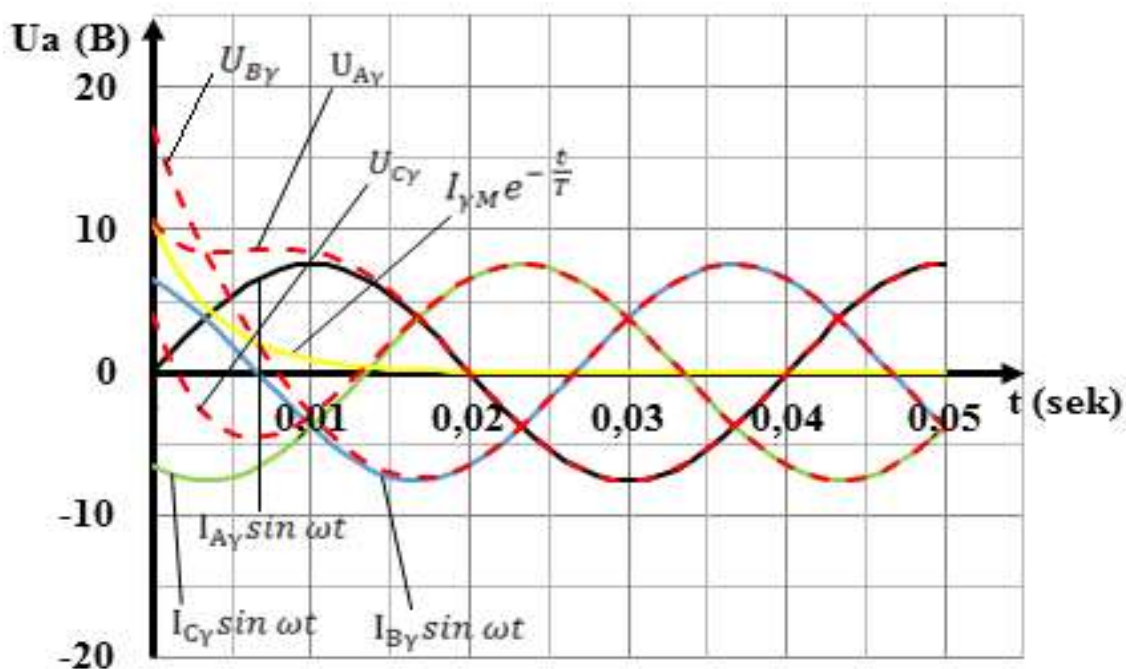
$$F_{maks A} = F_{maks B} = F_{maks C} = U_{maks} / (W_I \omega) = 380 / (1 \times 2 \times 3,14 \times 50) = 0,70637 \text{ B} \bar{6}. \quad (3.4)$$

Reaktiv quwat derekleriniń juldızsha (2.11. a-Súwret) hám úshmúyeshlik tarizde (2.11. b-Súwret) sxemalar menen elektr tarmaqlarına jalğanğan jağdayları izertlewleri (3.5) analitik ańlatpa tiykarında alıp barıladı hám olar 3.5 - súwretde keltirilgen.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{AY} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 1} W(F_{\mu 11}, F_{\mu 14}) K_{IEF \mu} (I_{AY} \sin \omega t + I_{AM} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{BY} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 2} W(F_{\mu 21}, F_{\mu 24}) K_{IEF \mu} (I_{BY} (\sin \omega t + 120^0) + I_{BM} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{CY} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 3} W(F_{\mu 31}, F_{\mu 34}) K_{IEF \mu} (I_{CY} (\sin \omega t - 120^0) + I_{CM} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{A\Delta} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 4} W(F_{\mu 41}, F_{\mu 44}) K_{IEF \mu} (I_{A\Delta} \sin(\omega t) + I_{AM} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{B\Delta} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 5} W(F_{\mu 51}, F_{\mu 54}) K_{IEF \mu} (I_{B\Delta} (\sin \omega t + 120^0) + I_{BM} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{C\Delta} = K_{F\mu UE} \Pi_{\mu 6} W(F_{\mu 61}, F_{\mu 64}) K_{IEF \mu} (I_{C\Delta} (\sin \omega t - 120^0) + I_{CM} e^{-\frac{t}{T}}); \end{array} \right. \quad (3.5)$$

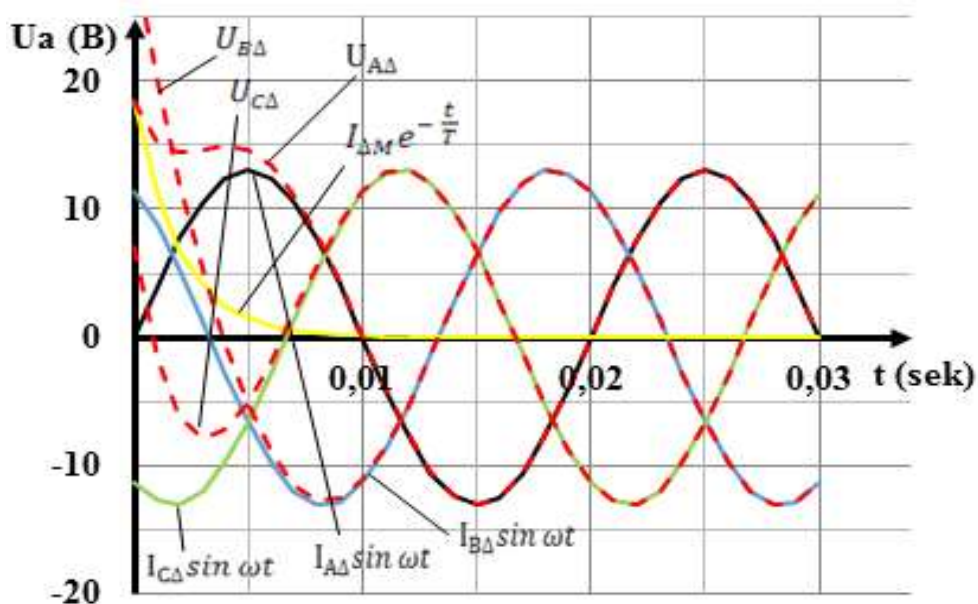


a)



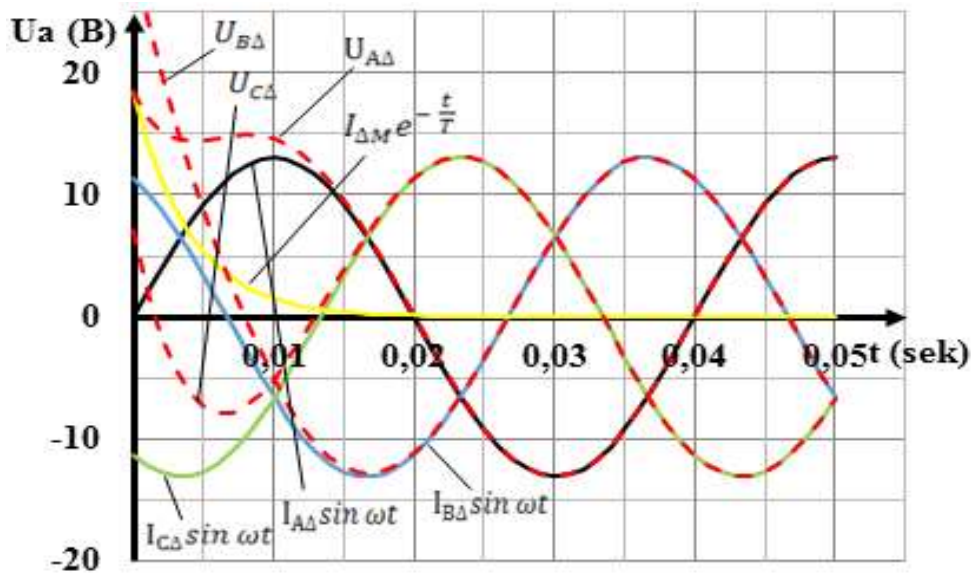
b)

3.5- súwret. Datchiktiń kóp fazalı toklar hám shıǵıw kernewi arasındaǵı baylanıslılıqtıń dinamikalıq xarakteristikaları. (reaktiv quwat derekleri juldızsha jalǵanǵanda a) Júkleme toklar inerttsionlıǵı  $t=0,02$  sekund, b) Júkleme toklar inerttsionlıǵı  $t=0,04$  sekund bolǵan halda)





a)



b)

3.6- súwret. Datchiktiń kóp fazalı toklar hám shıǵıw kernewi arasındaǵı baylanıslılıqtıń dinamikalıq xarakteristikaları. (reaktiv quwat derekleri úshmúyeshliktarizde jalǵanǵanda a) júkleme toklar inerttsionlıǵı  $t=0,02$  sekund b) Júkleme toklar inerttsionlıǵı  $t=0,04$  sekund bolǵan halda)

Datchikte júz berıp atırǵan dinamikalıq ózgerislerdiń biremshı kirisiw tokları, olar payda etken magnit aǵıslar hám shıǵıw kernewleriniń shamaları hám parametrlerine baylanıslı halda ózgeris grafıkları (3.5-súwret) hám (3.6 -súwret) ler tiykarında juwmaq qılıw múmkin, reaktiv quwat derekleri biremshı oraminan aǵıwshı júkleme toklar inerttsionlıǵı  $t=0,02$  bolǵan halda ETS tarmaqlarına jalǵanǵannan 0,008 - 0,012 sekund ótkennen keyin  $t=0,04$  bolǵan halda bolsa 0,015 - 0,025 sekund ótkennen keyin shıǵıw kernewleriniń muǵdarları turaqlılasadı.



### ***3.3. Kóp fazalı birlemshi toklar datchikleriniń metrologik xarakteristikaları, qátelikleri hám isenimliliği***

ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi tokları datchigi basqa birlemshi ólshew-ózgertiw apparatları sıyaqlı, aljasıqları menen xarakterlenedi: real datchikda birlemshi toklardıń muǵdarları ekilemshi shamaǵa ózgeriliwi nátiyjesinde payda bolǵan muǵdardan pariq etedi. Ózgeririlip atırǵan birlemshi toklardı ózgertiw bólekleri qásiyetleri bolǵan ózgertiw bóleginiń magnit sińiriwshiligi, g geometriyalıq ólshemleri, sırtqı magnit maydanlardıń tásiri hám basqa faktorlar ol yamasa bul jol menen datchikda signal ózgeriliwi processin real jaǵdaydan pariq etiwine alıp keledi. Bul jaǵdaylar datchikda signal ózgeriliwi aljasıqların belgileydi.

#### **3.3.1. Kóp fazalı birlemshi toklar datchikleriniń qátelikleri**

Aljasıqlar dereklerin signal ózgeritiliw processine unamsız tásir kórsetiwini analiz qılıwda, datchik anıqlıǵın belgilew wazıypasınan kelip shıǵıp, olardı tiykarǵı hám qosımsha aljasıqlar dereğine bolıw kerek. Ekenin aytıw kerek, tiykarǵı aljasıqlar derekleri birlemshi ólshew-ózgertiriwshi datchiklerdi isletiwdiń normal sharayatında anıqlanadı.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchigi ushın normal sharayat degende tómendegiler túsiniledi: átirap ortalıqtıń normal temperaturası, sırtqı magnit maydanlar hám ferromagnit massalardıń joq ekenligi, ózgermeli tokli shinalarning datchik magnit ózegi ishinde orayda hám simmetrik jaylasıwı. Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń isletiw sharayatlarınıń normallıǵınan buzılǵanda qosımsha aljasıqlar derekleriniń tásiri baslanadı.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń tiykarǵı hám qosımsha aljasıqlar derekleri úzliksiz hám tosınarlı aljasıqlarǵa bólinedi. Ózgeris processiniń qadaǵalanatuǵın birlemshi kóp

fazalı toklar ózgeritiliwi diapazonına baylanışlılıǵı, polattıń magnit qarsılıǵı xarakteristikasınıń sıızıqlı emesligi, magnit ózek hám sterjen bólekleriniń magnit ótkezgishlik xarakteristikası uǵımsızlıǵı kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń sistemalı aljasıqlar derekleri esaplanadı. Bul aljasıqlardı túrli usıllar menen pútkilley jónge salıwı yamasa minimum dárejege túsiriw múmkin.

Reaktiv quwat kóp fazalı birlemshi tokları datchigi tosınarlı aljasıqları dereklerine óz-ara baylanışlılıq ámeldegi bolmaǵan aljasıqlar kiredi. Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń tosınarlı aljasıqları dereklerine, mısalı, sırtqı magnit maydanlar, ferromagnit massalardıń tásiri kiredi. Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń texnologiyalıq hám isletiw qásiyetleri aldınan anıqlap alınbasa, onıń tiykarǵı hám qosımsha aljasıqlar dereklerin úzliksiz hám tosınarlı aljasıqlar dereklerine bolıw anıq bolmaydı. Mısalı, sırtqı magnit maydanlarınıń kóp fazalı toklar datchiginiń ekilemshi shıǵıw kernewine tásiri ulıwma alganda tosınarlı aljasıqlar deregine kiredi. Eger izertlew jetip atırǵan kóp fazalı birlemshi toklar datchigin tek ekilemshi kernewge baylanışlı bolǵan qosımsha ólshew ózgertkishi menen támiyinlesek hám datchik hám ózgertkish shıǵıw shamaların sonday retlese, ol jaǵdayda qosımsha ózgertkishtiń shıǵıw shaması kóp fazalı tok datchiginiń shıǵıw shamasına sırtqı magnit maydanlar tásirinen ózgeriwın Kompensatciya qılsa, bul úzliksiz payda bolǵan shama datchiginiń tiykarǵı aljasıqlar deregine kiredi.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchigi tosınarlı hám úzliksiz aljasıqları derekleri ortasındaǵı shegara datchik jumısınıń barlıq qásiyetleri dárejesine baylanışlı boladı, bul dáreje qanshellilik joqarı bolsa, sonsha kóp aljasıqlar tosınarlı jaǵdaydan úzliksizlik jaǵdayǵa ótip ketedi. Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń tiykarǵı aljasıqları derekleri metodikalıq, texnologiyalıq hám ekspluatatsion túrlerge, qosımsha aljasıqlar derekleri bolsa ishki hám sırtqı rejimli túrlerge bóliniwi anıqlandı.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchigi aljasıqlarınıń metodikalıq dereklerine modellerdi islep shıǵıwda datchik jumısınıń barlıq nızamlıqların tolıq esapqa almaǵanda payda bolatuǵın aljasıqlar kiredi. Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń birlemshi hám seziw bólegi oramları sanı, sterjen hám basqa detalların tayarlaw texnologiyasınıń uǵımsızlıǵı hám talapqa juwap bermewi aljasıqlardıń texnologiyalıq deregin xarakterleydi. Kóp fazalı birlemshi toklar datchigin texnologiyalıq aljasıqları dereklerine jıynaw hám sazlaw aljasıqları kiredi.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchigi aljasıqları derekleri klassifikaciyası jaratılǵan klasqa boliniwi 3.7-súwretde keltirilgen.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń tiykarǵı aljasıqların isletiw menen baylanıslı derekleri datchikti isletiwdiń normal sharayatlarında júz beredi hám datchiktiń matematikalıq modellerin islep shıǵıwda olardı tolıq esapqa alıw múmkinshiligi joq.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń qosımsha aljasıqlarınıń ishki derekleri - birlemshi toklardıń sinusoidal emesligi, birlemshi tok jiylikasınıń terbelıwı hám t.b.lar menen belgilenedi.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń qosımsha aljasıqları sırtqı dereklerine datchikti isletiwdiń sırtqı sharayatlarınıń turaqlı emesligi, mısalı, átirap -ortalıq temperaturasınıń terbelisleri, sırtqı magnit maydanlar hám ferromagnit massalardıń tásiiri, datchik serdechniki aynasında tokli shinaniń oraylıq jaǵdaydan jılısıwı hám basqalar menen baylanıslı.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchigi qosımsha aljasıqlardıń datchikti jumıs rejim menen baylanıslı aljasıqlar derekleri datchik júklemesiniń stabil emesligi, birlemshi tok ózgeriwiniń tezligi hám datchik dinamikalıq rejiminiń tásiiri nátiyjesinde júzege kelgen aljasıqlar derekleri menen anıqlama beriledi.

Sunday etip, kóp fazalı birlemshi toklar datchiginde birlemshi toklardı uyqas hám anıq ekilemshi kernew kórinisindegi signalğa ózgeriliwinde tásir etiwshi faktorlar nátiyjesinde payda bolğan tosınarlı aljasıqlar derekleri túrli kóriniste boladı.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń signal ózgeriw aljasıqların analiz qılıw hám bahalaw ushın 2.12- súwretde keltirilgen graf modeli menen birge ólshew datchikleri informaciya teoriyası qaǵıydalarınan paydalanılǵan.

Ólshew apparatları informaciya teoriyasına muwapıq kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń qateligi entropiyalı qátelik mánisi arqalı anıqlandı, entropiya koefficiyentleri bolsa bólek ózgeriw bólekleri aljasıqlarınıń itimallıqlarınıń qısıqlıǵı, bólistiriwi nızamı túrine baylanıslı boldı.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokları datchiginiń  $\sigma_{\Sigma}$  ortasha kvadratik qateligi tómendegi ańlatpa arqalı anıqlanadı:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}; \quad (3.6)$$

bul jerde  $\delta_1^2$ ,  $\delta_2^2$ ,  $\delta_n^2$  - datchik ózgeriw bólekleriniń ortasha kvadratik aljasıqları.

Izertlenip atırǵan kóp fazalı birlemshi toklar datchiginde  $K_E$  hám  $\sigma_{\Sigma}$  aljasıqlardıń bahaları málim bolǵanında  $\Delta_E$  - entropiyalı qáteliktiń mánisi tómendegi ańlatpa kórinisinde qáleplestiredi:

$$\Delta_{\mathcal{J}} = K_{\mathcal{J}} \cdot \delta_{\Sigma}. \quad (3.7)$$

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı tokları datchiginiń graf modelge muwapıq jıynalǵan qateligin qurawshıları bolıp, olar  $I_e$ ;  $F_{\mu}$ ;  $F_{\mu}$  hám  $U_{esh}$  shamalar esaplanadı.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı tokları datchiginiń kirisiw ózgeriw bóleklerindeki aljasıqlar derekleri qatarına túrli faktorlar - temperatura, ıǵallıq, sırtqı magnit maydanlar hám basqa faktorlardıń tásiri kiredi.



3.7- súwret. Kóp fazalı birlemshi toklar datchigi aljasıqları derekleri klassifikaciyası

ETSniń reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokları datchiginiń kirisiw ózgeriw bóleklerindeki aljasıqlar dereklerine - temperatura, ızǵarlıq, sırtqı magnit maydanlar hám basqa faktorlardıń tásirinde  $I_{EK}$  - kóp fazalı birlemshi toklar,  $\omega$  - elektr toginiń jiyiksı,  $W[I_E, F_\mu]$  túrli tábiyaatlı ózgeriw bólekleriniń baylanıs koefficiyentleri, sonıń menen birge tok ótkeriwshiler hám qozǵawtıw oramları materiallarınıń fizikalıq qásiyetleri tásir kórsetedi.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokları datchiginiń jıynalǵan qateligin bahalaw ushın  $I_E$  birlemshi toklardı  $F_\mu$  magnit ózgeriw bólegi úlkenligi bolǵan m. j. k lerga ózgeriw, yaǵnıy  $I_E \rightarrow F_\mu$  ózgeriw aljasıqları, yaǵnıy  $\delta_1 = 0,1$  - (bul ózgeriw bóleginde elektr hám magnit shamalardıń birlemshi nominal bahadan  $\pm 0,1\%$  shegaralıq muǵdarlarda shetleniwin,

$F_\mu$  - m. j. k. lardıń tarqalǵan parametrli ózgeriw bóleklerinde  $F_{\#}$  - ózgeriw bóleksheleri magnit aǵısların payda etiwlerin - yaǵnıy  $F_{\#} \rightarrow F_\mu$  - ózgeriw aljasıqların, yaǵnıy  $\delta_2 = 0,1$  - (bul ózgeriw bóleginde magnit shamalardıń parametrlerdiń tarqalǵanlıǵı tiykarında nominal bahadan  $\pm 0,1\%$  shegaralıq muǵdarlarda shetleniwin hám  $F_\mu$  ózgeriw bóleksheleri magnit aǵısların  $U_{esh}$  - shıǵıw elektr kernewlerine ózgeriw, yaǵnıy  $F_\mu \rightarrow U_{esh}$ , - ózgeriw aljasıqları, yaǵnıy  $\delta_3 = 0,1$  hám  $\delta_4 = 0,1$  Bolǵan kishi muǵdarları tiykarında anıqlanadı:

$$\delta_x = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 0,2. \quad (3.8)$$

ETS kóp fazalı birlemshi tokları datchigi aljasıqlarınıń barlıq qurawshıları additiv hám mul'tiplikativ aljasıqlar túrlerine bólinedi hám payda bolıw itimallıǵı bólistiriw nızamına muwapıq olardıń ortasha kvadratik manisinen tabıladı.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı tokları datchigi ushın qáteliktiń entropiya iyiw mánisi tómendegi formula tiykarında anıqlanadı:

$$\Delta = K_E \delta_\Sigma = 2,07 \times 0,2 = 0,41. \quad (3.9)$$

Esaplawlar hám tájiriybeler nátiyjesinde, ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń entropiya qateligi  $\Delta = 0,41$  yaǵnıy  $\pm 0,41\%$ , datchik anıqlıǵınıń normalastırılauı ma`nisin bolsa standartda belgilengen sanlar qatarında tańlaw múmkin. Bul gruppada reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokları datchigi ushın normalanǵan anıqlıq klası 0,5 yaǵnıy  $\pm 0,5\%$  ti quraydı.

ETS reaktiv quwatı qadaǵalawı hám basqarıwında mikroprotessorli apparatlar hám elektron esaplaǵıshlardı keń engiziliwi munasábeti menen datchikler hám elektron maǵlıwmatlardı qayta islew qurallarına normalanǵan kernew (20 V) hám tok (0,1 A) jetkiziw hám olardıń anıqlıǵın támiyinlew aktual esaplanadı.

ETS reaktiv quwat dereklerin kóp fazalı birlemshi tokların ózgertiw datchiginiń aljasıqların analiz qılıw hám bahalaw ushın 1.3- súwretde súwretlengen datchikniń graf modelindegi bir faza tok ushın signal ózgertiwdiń (3.1) hám (3.2) analitik ańlatpaları hám de 3.1 hám 3.2 súwretlerde keltirilgen maǵlıwmatlardan paydalanıw usınıs etiledi.

3.1-súwret tiykarında  $I_{Ay}$ ,  $U'_{ay}$ ,  $U''_{ay}$  shamalardıń muǵdarları tiykarında statikalıq xarakteristikalardıń noqatlarına uyqas keliwshi ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı tokları datchiginiń ózgertiw aljasıqlarınıń kórsetkishleri esaplanadı :

$$I_{Ay} = 38 \text{ A}; \quad U'_{ay} = 10 \text{ B}; \quad U''_{ay} = 10,18 \text{ B};$$

$$\Delta = \frac{(U''_{ay} - U'_{ay})}{U'_{ay}} * 100\% = \frac{(10,18 - 10)}{10} * 100\%$$

$$= 1,8\% . \quad (3.10)$$

$$I_{A\gamma} = 76 \text{ A}; \quad U'_{a\gamma} = 20 \text{ B}; \quad U''_{a\gamma} = 20,37 \text{ B};$$

$$\Delta = \frac{(U''_{a\gamma} - U'_{a\gamma})}{U'_{a\gamma}} * 100\% = \frac{(20,37 - 20)}{20} * 100\% \\ = 1,81\% . \quad (3.11)$$

Esaplangan maǵlıwmatlar tiykarında juwmaq shıǵarıw múmkin, ETS reaktiv quwat derekleri tarmaqlarınıń kóp fazalı birlemshi toklarınıń datchigin tarqalǵan parametrli graf modeli, model tiykarında qalıplestirilgen analitik ańlatpa hám olardan alınǵan grafik xarakteristikalar datchiktiń strukturası izertlewleri nátiyjelerine adekvat bolıp, sızıqlı shıǵıw xarakteristiksın sızıqlılıǵın támiyinlegen halda ózgeriw anıqlılıǵın 1, 8% ga asırıw imkaniyatın berdi.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kondensatorların úshmúyeshlik tarizli formada jalǵanǵan jaǵday ushın  $I_{A\gamma}$ ,  $U_{a\gamma}$ ,  $U'_{a\gamma}$  shamalardıń muǵdarları tiykarında statikalıq xarakteristikalardıń noqatlarına uyqas keliwshi ózgeriw aljasıqların kórsetkishleri esaplanadı:

$$I_{A\Delta} = 65,75 \text{ A}; \quad U'_{a\Delta} = 10 \text{ B}; \quad U''_{a\Delta} = 10,184 \text{ B};$$

$$\Delta = \frac{(U''_{a\Delta} - U'_{a\Delta})}{U'_{a\Delta}} * 100\% = \frac{(10,184 - 10)}{10} * 100\% \\ = 1,8 \% ; \quad (3.12)$$

$$I_{A\Delta} = 131,5 \text{ A}; \quad U'_{a\Delta} = 20 \text{ B}; \quad U''_{a\Delta} = 20,369 \text{ B};$$

$$\Delta = \frac{(U''_{a\Delta} - U'_{a\Delta})}{U'_{a\Delta}} * 100\% = \frac{(20,369 - 20)}{20} * 100\% \\ = 1,8 \% ; \quad (3.13)$$

bul jerde de alınǵan nátiyjelerde ETS reaktiv quwatı derekleri payda etip atırǵan kóp fazalı birlemshi toklardıń datchigin



tarqalgan parametrli graf modeli ham ol tiykarında qurilgan analitik anlatpa datchikni real sızıqlı shıgıw xarakteristikalarına adekvat bolıp, olar da datchikni ózgeriw anıqlıgın 1,8 % ke asırıw múmkinshiligi támiyinlengenligin kórsetdi.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokları datchiginiń kirisiw shınjırı  $I_{e1}$ ,  $U_{\mu}$  graf modelde (2.2-súwret) berilgen, ol jaǵdayda  $I_E$  ( $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_A$ ) kóp faza toklar  $F_{\mu}$  magnit jurgiziwshi kúshlerge ózgeritiledi. Keltirilgen signal ózgeriw bólegi  $K [I_E, F_{\mu}]$  elektr ham magnit shınjırlarara baylanıs koefficiyenti arqalı sawlelendirilgen.  $F_{\mu}$  ham  $F$  ózgeriw bóleklerinde  $F_{\mu}$  magnit jurgiziwshi kúshler ózgeriw bólekshelerinde  $F_{\mu}$  magnit aǵıslarına ózgeritiledi, onıń  $W_{\mu}$  ham  $\Pi_{\mu}$  ózgeriw bóleksheleriniń uzatıw funktsiyası magnit ózgeriw bólekshe strukturasınıń parametrlerin sawlelendiredi.

**Átirap ortalıq temperaturasınıń kóp fazalı birlemshi toklar datchigi aljasıqlarına tásiiri.** ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokları datchiginiń birlemshi orami, magnit ózegi, sterjeni, seziw elementi - oramınıń elektr ham magnit kórsetkishleri átirap -ortalıq temperaturasınıń ornatilgan kórsetkishi ózgeriwi menen ózgeredi. Temperatura tómenlewi menen birlemshi ham ekilemshi oramlardıń qarsılıǵı paseyedi, joqarılagan tárepke qarsılıq artadı. Átirap ortalıq temperaturası ózgeriwi datchik serdeshniginiń elektr ham magnit qásiyetleriniń onsha úlken bolmaǵan ózgerislerine alıp keledi ham olarǵa onsha itibar bermese de boladı.

Temperatura ózgeriwi menen ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokları datchiginiń aljasıqları azayıwı yamasa kóbeyiwi múmkin. Kóp fazalı birlemshi toklar datchigi aljasıqlarına sırtqı ortalıq temperaturasınıń tásinin esaplawda datchik birlemshi ham ekilemshi oramları qarsılıqlarınıń ózgeriwi tómendegi formula menen anıqlanadı:

$$R_{E T} = 1 / ((1 + \alpha T_T) R_{E C E}). \quad (3.14)$$

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı tokları datchiginiń aljasıqların túrli temperaturalarda esaplaw nátiyjeleri analizi sonı kórsetedi, átirap ortalıqtıń ózgeriwı datchik aljasıqlarına kem tásir kórsetedi. Mısalı, sırtqı ortalıq temperaturasınıń ózgeriwiniń +70% ózgeriwine teń bolǵanda birlemshi toklar daǵı aljasıqlar 0,005% ga ózgeredi.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń  $I_{ek}$  kirisiw toǵın  $U_{esh}$  shıǵıw kernewine ózgertiwiniń anıqlıǵına átirap -ortalıq temperaturası  $T$  da tásir etedi. ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń  $U_{esh}$  shıǵıw kernewi hám  $I_{ek}$  kirisiw toǵı ortasındaǵı baylanıstı  $I_{ek}$  átirap -ortalıq temperaturası  $T$  ni ózgertiw magnit hám elektr bólimleriniń parametrlerine tásirin esapqa alǵan halda anıqlanadı:

$$U_{EЧ} = ((K_{IE} F_{\mu} R_{\mu} K_{F\mu UE}) / (1 - R_E K'_{IE} F_{\mu} R_{\mu} K_{F\mu UE})) I_{EK}, \quad (3.15)$$

bul jerde  $R_{\mu} = 1 / ((1 + \alpha T_T) R_{\mu i j \kappa} + R_{0\mu i j \kappa})$  - bul átirap -ortalıq temperaturası  $T_T$  nıń ózgeriwine qaray ózgeriwshi magnit sistemaniń qarsılıǵı;  $\alpha$  - sáykeslik koefficiyenti;  $R_{E_T} = 1 / ((1 + \alpha T_T) R_{E_C E})$  - Elektr parametr - átirap -ortalıq temperaturasınıń ózgeriwine baylanıslı seziw elementiniń qarsılıǵı.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń signal ózgeriwı hám átirap -ortalıq temperaturası  $T$  ózgeriwı datchik ózgertiw anıqlıǵına tásir etedi. Kóp fazalı birlemshi toklardı kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń graf modeli tiykarında izertlew nátiyjesinde, ekilemshi oramnıń  $I_e$  átirap -ortalıq temperaturası  $T$  nıń bahaları hám dúzilıw parametrlerine tásiri menen 0,5% ti uyımlastırıwı anıqlandı.

**Kóp fazalı tok datchigi aljasıqlarına reaktiv quwat deregi jiylik ózgeriwiniń tásiri.** ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp

fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń aljasıqlarına tásiri birlemshi toklardıń túrli bahalarında izertlenedi. Bunda reaktiv quwat deregi retinde qollaniliwshi kosinusli kondensatordıń qarsılıǵın jiylikǵa hám sıyımlılıq qarsılıǵına tásiri esapqa alınıwı zárúrli esaplanadı.

Esaplawlar nátiyjesinen kórinip turıptı, olda, reaktiv quwat deregi birlemshi tokları jiyliksiniń nominaldan 5% ge ózgeriwinde qáteliktiń ózgeriwi 0, 01% ti uyımlastırıwı esaplap shıǵıldı.

**Sırtqı magnit maydanlardıń kóp fazalı birlemshi toklar datchigi aljasıqlarına tásiri.** Sırtqı magnit maydanlarınıń, atap aytqanda qasında tok ótkeriwshiler yamasa shinalar tokları payda etken magnit maydanlardıń datchik jumısına tásiri jaratılǵan tarqalǵan parametrli graf modeli tiykarında jetkilikli dárejede úyrenilgen. Sol sebepli islep shıǵılǵan kóp fazalı toklar datchigi birlemshi shınjırı magnit maydanlarınıń onıń aljasıqlarına tásirin úyreniw menen sheklenemiz.

Sonday etip, islep shıǵılǵan kóp fazalı birlemshi toklar datchigi aljasıqların izertlew sonı kórsetedi, datchiklerdiń múmkin bolǵan aljasıqlarınıń tiykarǵı derekleri - izertlew modeli hám usılıniń kemshiligi, izertlewdi joybarlaw hám datchikti texnologiyalıq jıynawdıń uǵımsızlıǵı, magnit ózek, sterjen materialı, tok jiyliksı hám seziw elementi parametrleri hám xarakteristikalarınıń turaqlı emesligi, sonıń menen birge sırtqı sharayatlardıń qolaysızlıǵı esaplanadı. Kóp fazalı toklar datchigi aljasıqlardıń qalıplestirilgen analitik ańlatpaları analizi tiykarında sonday juwmaqqa kelindi, datchik ózgertiwleriniń anıqlılıǵına birlemshi reaktiv toklardıń júklemesi, birlemshi toklar jiyliksı terbelisleriniń turǵunlıǵı hám texnologiyalıq tayarlawlar eń úlken tásir kórsetediler. Bunda kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń keltirilgen maksimal qátelik 5% ti quraydı.

### 3.3.2. Kóp fazalı birlemshi toklar datchikleri isenimli islewin izertlewi

Isenimlilik - barlıq texnikalıq apparatlar sıyaqlı kóp fazalı toklar datchiginiń da tiykarǵı xarakteristikalarınan biri bolıp tabıladı. ETS apparatlarınıń isenimli islewi, texnikalıq hám ekonomikalıq kórsetkishleri birlemshi datchikleriniń isenimli islewi menen xarakterlenedi.

Sonıda aytıw kerek, texnikalıq apparatlardan bolǵan kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń isenimliliǵın esaplaw algoritmi qatar ǵárezsiz strukturalıq bólimlerge iye: bunda kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń mexanik ( $P_{mex}$ ), elementli ( $P_{el}$ ) hám metrologik ( $P_{met}$ ) isenimlilikleri tiykarındaǵı ulıwma isenimliliǵı tómendegishe anıqlanadı:

$$P = P_{mex} P_{el} P_{met}. \quad (3.16)$$

Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń hár bir strukturalıq bóleginiń ulıwma isenimliliǵı esaplaw waqıt boyınsha ózgeriwshen úsh túrdegi faktorlardı esapqa alǵan halda ámelge asırıladı: baxıtsızlıqtı (kútpegende)  $P_{Fojk}(t)$ , Parametrik (izbe-iz)  $P_{nap}(t)$  Hám udayı tákirarlanatuǵın (ózgeriwshen)  $P_{dabp}(t)$ :

$$P(t) = P_{Fojk}(t)P_{nap}(t)P_{dawir}(t). \quad (3.16)$$

Bunda názerde tutıladı, datchiktiń isten shıǵıwı ETS reaktiv quwat dereklerin jumısına tásir etpeydi hám bul tiykarda kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń isenimliliǵın mexanik quraytuǵını - strukturalıq bólegine itibar berilmeydi.

Parametrik hám udayı tákirarlanatuǵın faktorlarda kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń toktawsız islew múmkinshiligi  $P_{nap}(t) = 0,98$  ba  $P_{dabp}(t)=0,99$  Ga teń etip alınadı, kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń baxıtsızlıq faktorlarında itimallıqtıń ózgeris nızamı waqıtqa baylanıslı emes hám kóp fazalı toklar datchiginiń barlıq elementlerin birdey isenimligi támiyinlenedi.

Kóp fazalı birlemshi toklar datchiginiń metrologik isenimliliği real birlemshi toklarda signal ózgeriw aljasıqların datchiktiń islew dáwiri dawamında belgilengen normativ bahalardan aspawı múmkinshiligin xarakterleydi.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgeriw elektromagnit datchiginiń signal ózgeriw principin analiz etip, ózgeriw bólekleriniń isenimliliğın anıqlawğa múmkinshilik beretuğın kesteniń qurawshıların múmkin bolğan jağdayları dúzilgen (3.1-keste). Kesteden kórinip turıptı, olda, seziw elementleriniń múmkin bolğan túrli jağdayları bar.

Elementlerdiń barlıq múmkin bolğan operatsion jağdaylarınıń itimallığın jıynap (3.1-keste), datchik bólekleriniń islew itimallığı alınadı hám bunda ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı tokların kernewge ózgeriwi elektromagnit datchiginiń tiykarǵı ózgeriw bólekleriniń (birlemshi oram, magnit ózek, seziw elementi hám sterjen) jumıs jağdayda bolıw múmkinshiligi uyqas túrde tómendegishe qabıl etilgen:  $P_1 = 0.99$ ;  $P_2 = 0.99$ ;  $P_3 = 0.99$ ;  $P_4 = 0.99$ .

### 3.1- Keste

#### Datchik ózgeriw bólekleriniń jumısshı jağdayda bolıw itimallığı

№	Jağday	Itimallıq	Ózgeriw bóleginiń jumısshı bólegi
1	$C_1$	$P_1P_2P_3P_4$	1- birlemshi oram, 2- magnit ózek, 3- seziw elementi. 4 – sterjen
2	$C_2$	$P_1P_2P_3(1-P_4)$	1;2;3
3	$C_3$	$P_1P_2P_4(1-P_3)$	1;2;4

4	$C_4$	$P_1P_3P_4 (1-P_2)$	1;3;4
5	$C_5$	$P_2P_3P_4 (1-P_1)$	2;3;4
6	$C_6$	$P_1P_2(1-P_3)(1-P_4)$	1;2
7	$C_7$	$P_2P_3(1-P_1)(1-P_4)$	2;3
8	$C_8$	$P_3P_4 (1-P_1)(1-P_2)$	3;4
9	$C_9$	$P_1P_4(1-P_2))(1-P_3)$	1;4
10	$C_{10}$	$P_1P_3(1-P_2)(1-P_4)$	1;3
11	$C_{11}$	$P_2P_4(1-P_1)(1-P_3)$	2;4
12	$C_{12}$	$P_1(1-P_2)(1-P_3)(1-P_4)$	1
13	$C_{13}$	$P_2(1-P_1)(1-P_3) )(1-P_4)$	2
14	$C_{14}$	$P_3(1-P_1)(1-P_2))(1-P_4)$	3
15	$C_{15}$	$P_4(1-P_1)(1-P_2))(1-P_3)$	4

### 3.2- Keste

#### Datchiktiń jumıs qábileti itimallığı tómendegishe esaplanadı:

$P_1P_2P_3P_4$	0,96059601
$P_1P_2P_3 (1-P_4)$	0,00970299
$P_1P_2P_4 (1-P_3)$	0,00970299
$P_1P_3P_4 (1-P_2)$	0,00970299
$P_2P_3P_4 (1-P_1)$	0,00970299
$P_1P_2(1-P_3)(1-P_4)$	0,00009801
$P_2P_3(1-P_1)(1-P_4)$	0,00009801
$P_3P_4 (1-P_1)(1-P_2)$	0,00009801
$P_1P_4(1-P_2))(1-P_3)$	0,00009801
$P_1P_3(1-P_2)(1-P_4)$	0,00009801
$P_2P_4(1-P_1)(1-P_3)$	0,00009801
$P_1(1-P_2)(1-P_3)(1-P_4)$	0,00000099
$P_2(1-P_1)(1-P_3) )(1-P_4)$	0,00000099
$P_3(1-P_1)(1-P_2))(1-P_4)$	0,00000099
$P_4(1-P_1)(1-P_2))(1-P_3)$	0,00000099

Datchik ózgertiw elementlerdiń barlıq múmkin bolǵan operatsion jaǵdaylarınıń itimallıǵın jıynap (3.2-keste), datchik bólekleriniń jumıs qábileti itimallıǵı esaplanadı:

$$P = P_1P_2P_3P_4 - P_1P_2P_3(1-P_4) - P_1P_2P_4(1-P_3) - P_1P_3P_4(1-P_2) - P_2P_3P_4(1-P_1) - P_1P_2(1-P_3)(1-P_4) - P_2P_3(1-P_1)(1-P_4) - P_3P_4(1-P_1)(1-P_2) - P_1P_4(1-P_2)(1-P_3) - P_1P_3(1-P_2)(1-P_4) - P_2P_4(1-P_1)(1-P_3) - P_1(1-P_2)(1-P_3)(1-P_4) - P_2(1-P_1)(1-P_3)(1-P_4) - P_3(1-P_1)(1-P_2)(1-P_4) - P_4(1-P_1)(1-P_2)(1-P_3) = 0,92. \quad (3.17)$$

Juwmaq etiw múmkin, ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların ekilemshi kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń jumıs qábileti itimallıǵı  $R = 0,92$  ge teń.

**Datchiktiń funksional isenimliligin esaplaw.** ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń funksional isenimliligin esaplaw  $I_{EK}$  kóp fazalı birlemshi elektr toklarınıń  $U_{Esh}$  ekilemshi shıǵıw kernewine ózgertiw menen tiykarlanadı.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń funksional isenimliligi tómendegi izbe-izlilikde esaplanadı:

-  $U_{Esh}$  shıǵıw kernew funksiyası forması qáliplesedi, yaǵnıy.  $I_{EK}$  kirisiw tokların  $U_{Esh}$  shıǵıw kernewine ózgeriwi ushın matematikalıq ańlatpa jazılıp, ol datchik dúzilıwlerinde isletiletuǵın hár qıylı fizikalıq tábiyatlı muǵdarlar menen seziw bólegi arasında óz-ara baylanıslılıqtı ornatadı:

$$U_{Eshiq} = K_{\mu E} T_{\mu} R_{\mu} K_{E\mu} T_{EK} R_{EK} I_{EK}. \quad (3.18)$$

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń  $I_{EK}$  kirisiw tokların  $U_{Eshiq}$  shıǵıw kernewine ózgertiw analitik ańlatpasın analiz qılıw tiykarında datchik isenimliligin esaplawdıń diagramması dúziledi

hám datchik (p1) bólekleriniń tolıq isten shıǵıwı sebepli kórsetkishti belgileytuǵın isenimliligi esaplanadı.

ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchigi ushın (3.19) teńlemeni analiz qılıw, birlemshi oramdaǵı signallardıń úzilisi (birlemshi oramlardan toklardıń aqpawı)  $T_{EK}R_{EK} = 0$  birlemshi qozǵalıw oramı,  $T_{\mu}R_{\mu} = 0$  magnit ózgertiw bóleginiń islemey qalıwı (sınıwı), seziw bóleginiń  $T_{E\mu}R_{E\mu} = 0$  isten shıǵıwı yaǵnıy oramniń úzilisi, magnit ózgertiw bóleginiń birlemshi tokları  $K_{F\mu UE} = 0$ , menen teń ekenligi anıqlanadı.  $K_{IEF\mu} = 0$  bolıwı datchiktiń seziw bólegin tolıq islemey alıwına yaǵnıy signal payda etpesligine alıp keledi.

Baxıtsızlıq buzılıwları esapqa alǵan halda yaǵnıy  $P_{buz} = 0.98$  bolǵanda ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń ulıwma isenimliligi tómendegishe anıqlanadı:

$$P = P_{buz} \times P_{nap} = 0,98 \times 0,98 = 0,96. \quad (3.19)$$

Ámelge asırılǵan esap - kitaplardan sonı kórsetedi, ETS reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit datchiginiń signal ózgertiw jaǵdayı parametrik isenimlilik ma`nisine átirap -ortalıq temperaturası hám materiallardıń tozıwı tásirinde  $F_{\mu}$  magnit aǵımı yamasa induktsiyası eń úlken tásir kórsetedi.



## **IV BAP. KÓP FAZALI BIRLEMŞHI TOKLARDI EKILEMŞHI KERNEWGE ÓZGERTIW DATCHIGINIŃ AMELIY JUMISLARI**

---

### ***4.1. Reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemşhi tokları datchiginiń dúzilıw principin qurıw hám izertlew***

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemşhi toklarınıń ekilemşhi kernew kórinisindegi signalğa ózgertiw datchigi parametrlerin izertlew hám tańlaw úsh basqışdan ibarat bolıp, olar ózgertiw bólekleri hám elementleriniń dúzilisin hám ózgertiw bóleksheleriniń parametrlerin tańlaw esaplanadı.

Reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemşhi tokları datchiginiń eń maqul túsetuǵın dúzilisin tańlaǵannan keyin, islep shıǵılǵan dúzilisin oylap tabıw kórinisinde usınıw ushın bul datchik dúzilisin bir neshe analog hám pratatipler menen salıstırıladı. QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemşhi toklarınıń ekilemşhi kernew kórinisindegi signalğa ózgertiw datchigi dúzilisi saylanǵannan keyin, elektr támiynatı sistemaları reaktiv quwatın basqarıwı ózgertiw bóleklerin maqul túsetuǵın parametrlerin esaplaw ámelge asırıladı.

Izertlewlér nátiyjesinde QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemşhi toklarınıń datchigin tómendegi tiykarǵı elementleri bar ekenligi kórsetildi: birlemşhi oram - ETS tarmaǵı tok ótkeriwshi, yaǵnıy birlemşhi tok aǵıp ótetuǵın oram - birinshi ózgertiw bólegi, magnit jurgiziwshi kúsh hám magnit aǵıs aǵıp ótetuǵın ekinshi ózgertiw bólegi - magnit ózek hám sterjen, úshinshi ózgertiw bólegi - ápiwayı yamasa tegis ólshew oramlar yamasa gerkon kórinisindegi - seziw elementleri kiredi. QTEDli ETS reaktiv quwat basqarıwında barlıq talaplarǵa juwap beretuǵın datchiktiń racional strukturasını tańlaw ushın ózgertiw bóleklerinde qollanılıwshi fizikalıq-texnikalıq effektler hám olardıń datchik dúzilisinde qollanılıw principleri, ózgertiw bóleginiń hám datchiktiń dúzilisi izertlenedi.

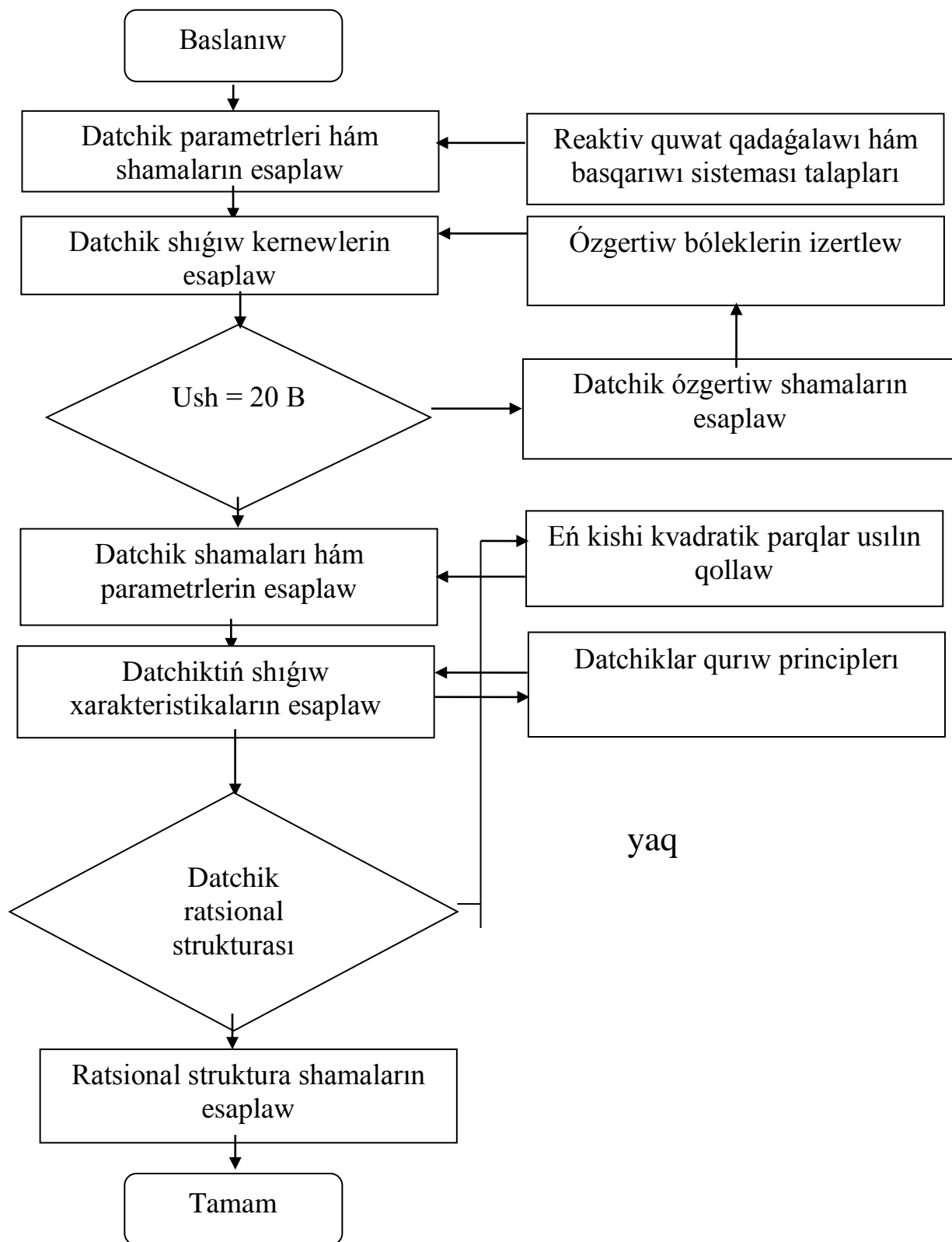
QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlēmshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchiginiń dúzilisin 4.1-suwretde usınıs etilgen strukturani racional tańlaw algoritmǵa muwapıq ámelge asırılıwı islep shıǵıldı.

Datchik dúzilisin racional tańlaw talaplardı (hawa aralıǵı hám magnit ózek geometriyalıq ólshemleri hám olar tárepinen támiyinleniwshi sızıqlılıq, anıqlıq, bayqaǵıshlıq, ózgertiw parametrleriniń bahaları hám basqalar) kirgiziwden baslanadı. Talaplardıń ózi basqarıw sistemalarınıń talabına qaray qalıplestiredi. Keyinirek, eń maqul túsetuǵın datchik dúzilisi talaplarǵa muwapıq saylanadı. Onıń ushın olar, joqarıda kórsetilgendey, tiykarǵı ózgertiw bóleklerine shaqırıw beredi, olar óz gezeginde uqsas maqsetke iye datchiklerdiń ámeldegi dúzilıwların analiz qılıw tiykarında sintezlenedi hám ilimiy-texnikalıq maǵlıwmatlar fondı tiykarında tastıyıqlanıwına erisildi.

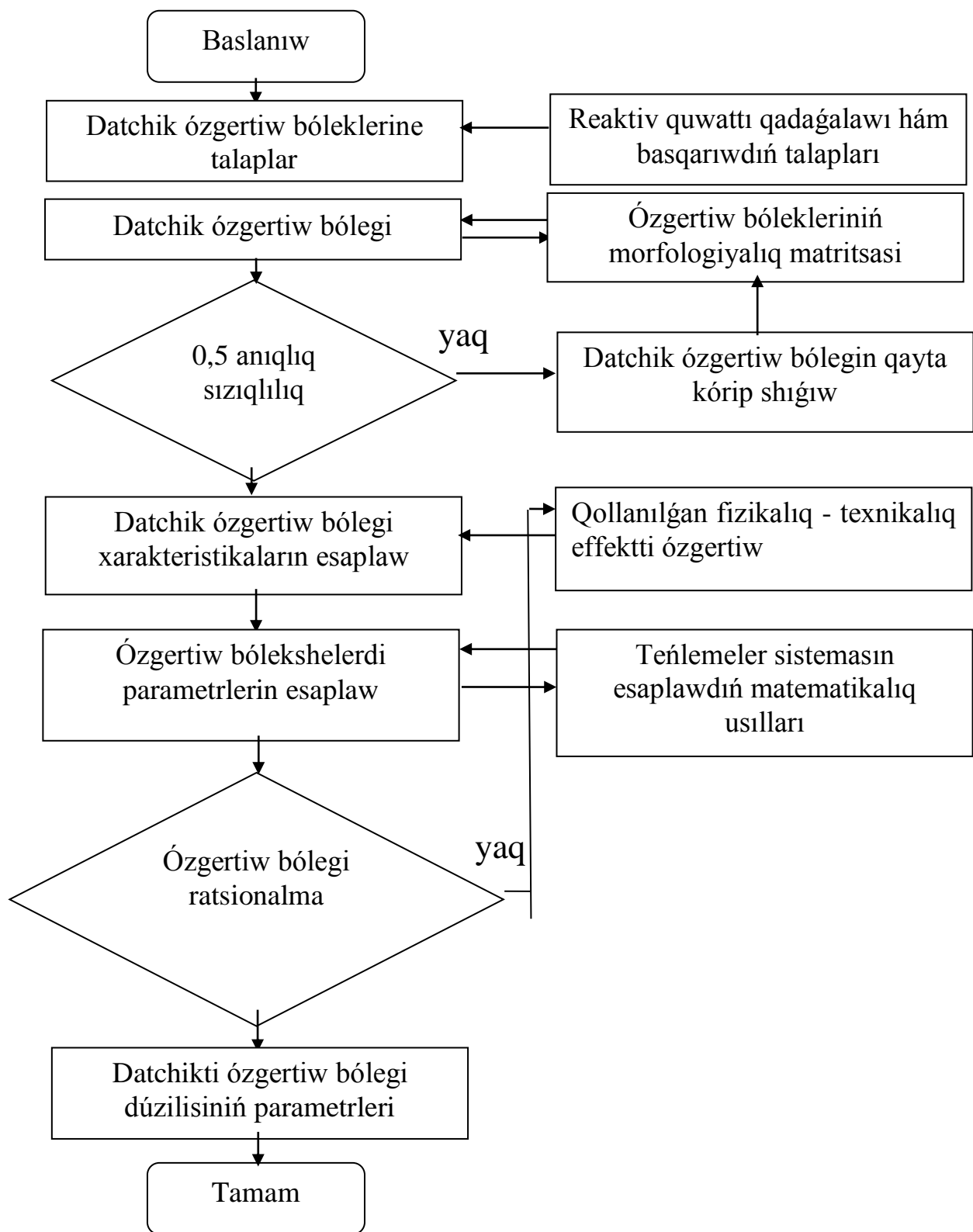
Saylangan datchik dúzilisi variantınıń talaplarǵa muwapıqlıǵı tekserildi hám eger maqul bolsa, ilimiy hám texnikalıq maǵlıwmatlardıń maǵlıwmatlar bazasınan ámeldegi analoglar hám prototipler menen ózgertkich dúzilisin jaylastırıwǵa ótiw ámelge asırıldı. Eger alıp barılıp atırǵan esaplar hám ózgertiwlerde qandayda -bir parq bolmasa, ol jaǵdayda datchiktiń dúzilisin jaqsılawdıń ulıwma usıllarınan paydalanǵan halda hám hár qıylı elementlerdi isletiw tiykarında, belgili dúzilıwden sezilerli farqqa erisiw hám tiyisli hújjet penen qorgawlanǵan jańa dúzilıwdı alıw 4.2-suwretde keltirilgen datchik ózgertiw bóleklerin izertlewi algoritmi tiykarında ózgertiw bóleginiń racional kórinisi islep shıǵıldı.

Datchik ózgertiw bóleklerin izertlewi algoritminiń blok - sxeması 4.2-suwretde keltirilgen. Izertlewlerde datchik ózgertiw bóleginiń ulıwma jetilistiriw usıllarınıń áhmiyeti retinde kóp fazalı birlēmshi tokların kernewge ózgertiw elektromagnit

datchiginiń hám ózgertiw bólekleriniń jańa texnikalıq sheshimlerin racional payda etiwde zárúrli rol oynawına erisildi.



4.1- súwret. Datchik dúzilisin racional tańlaw algoritminiń blok - sxeması



4.2- súwret. Datchik ózgeriw bóleklerin izertlewi algoritminiń blok -sxeması

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchiginiń ózgeriw bóleklerin izertlewi algoritminiń blok - sxeması 4.2-suwretde keltirilgen bolıp, bul algoritm tiykarında datchik xarakteristikaların jaqsılawdıń ulıwmalastırılǵan konstruktiv texnologiyalıq usılı ámeliyatqa qollanıladi. Bul algoritm tiykarında datchiktiń ózgeriw bóleginiń jańa dúzilisi alındı hám ózgeriw bólegin racionallawdıń nátiyjeli usılı usınıldı. Joqarıda kórsetip ótilgeni sıyaqlı, datchik yamasa ózgeriw bóleginiń jańa dúzilislerdi islep shıǵıwda datchikler salasındaǵı strukturalardı jetilistiriwdiń tiykarǵı usılları tómendegiler: ózgeriw bóleklerindegi bólekshelerdi funktsiyaların birlestiriw, ózgeriw bóleklerin atqarip atırǵan funktsiyası boyınsha bólimlerge ajratıw, bóleklerdiń formasın ózgeriw, qosımsha bólek yamasa bólimlerdi kirgiziw, bóleklerdiń salıstırmalı jaylasıwların ózgeriw hám datchiklerdi qurıw jańa principlerden paydalanıw ekenligi anıqlandı.

#### ***4.2. Datchikteń tiykarǵı ózgeriw bóleklerin tańlaw***

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchiginiń shıǵıw kernew kórinisindegi signalınıń derekleri retinde reaktiv quwat deregi payda etken hám metall ótkeriwshiler (mıs, alyuminiy) den aǵıb ótetuǵın kóp fazalı birlemshi elektr toklar ekenligi tastıyıqlandı.

##### **4.2.1. Kernew kórinisindegi signal elementlerin tańlaw**

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchiginiń dúzilisi hám ózgeriw principleri ushın tiykarǵı talaplar - reaktiv quwat derekleri hám olar payda etiwshi kóp

fazalı biremshı elektr toklardıń úzlıksızlıgı, ornatılğan kóp fazalı biremshı tok tiykarında payda etilgen ekilemshı kernewdıń joqarı anıqlıgı, hawa aralığında ornatılğan seziw bólegi jetkezip berip atırğan signaldıń isenimlilik, datchiktiń qolaylıgı hám normalanğan signal islep shıǵarıw qábileti, reaktiv quwat dereklerin elektr tarmaqlarına jalǵanıwınıń isenimliliǵı, sonıń menen birge datchiklerdiń baxası arzanlıǵı menen tastıyıqlandı.

Biremshı datchikler ushın zárúrli talap bolıp, reaktiv quwat derektiń qadaǵalaw hám basqarıw ushın jetkezip berip atırğan ekilemshı elektr kernew kórinisindegi signaldıń muǵdarı hám sapa kósetkishleri esaplanadı, anıqraqı, datchikler reaktiv quwat derekleri seziw bólegi maydanında ( $\Phi(\Pi) = \text{const}$ ) birdey jáne onı perpendikulyar kesetuǵın magnit aǵımın támiyinleydi. Bul kórsetkishler matematikalıq modellerge sáykes keledi hám datchiktiń joqarı seziwsheńligin hám anıqlıǵın támiyinleydi. Atap ótiw kerek, ( $\Phi(\Pi) = \text{const}$ ) Shártin datchiklerdiń ózgeriw bóleklerinde támiyinlew júdá qıyın, sebebi ólshew processindegi gúzetiwden ekenin aytıw kerek, magnit aǵımın kishi ózgeriw bólekshesinde de úlken ózgeris juz beredi. Sol sebepli, datchikti izertlewde standart maǵlıwmatlardan paydalanıw usınıs etiledi. Qosımsha derekler retinde hám magnit aǵımın payda etiwshi (diametri  $d = (0,01-0,05)$  mm) izolyatsiyalangan datchikler magnit kontaktarnıń denesi boylap teń túrde oralıwı kerekligi anıqlandı.

Arnawlı texnologiya menen izolyatsiyalangan jińishke aǵıs ótkeriwshileri oram elementleri retinde de uyqas keldi. Joqarıdaǵı talaplarǵa qosımsha túrde derekler hám magnit aǵımın úzlıksız xarakterge iye, reaktiv quwat derekleri aǵıslar payda etiwdiń tiykarǵı bólekleri bolıp, xızmet múddeti uzaq hám baxası arzanlıǵına erisildi.

#### **4.2.2. Magnit ózgertiw bólegi úlkenligi hám parametrlerin tańlaw**

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchiginiń bir strukturası magnit ózeginde jaylasqan tok ótkeriwshiler málim bir datchiktiń dúzılıw qásiyetlerin esapqa alǵan halda saylanadı. Bunda magnit ótkizgishlikti, agressiv yamasa ızǵar ortalıqqa qarsılıq, ıssılıq tásirin, sonıń menen birge baxasın esapqa alıw kerek. QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchiginiń dúzılıwlarında magnit shınjırdıń materialı E40 elektr polat bolıp tabıladı, ol datchik ushın joqarı magnit ótkizgishlikke ıyelewi hám nanotexnologiya tiykarında alınǵan zamanagóy magnit materiallar tańlap alıwı usınıs etiledi.

#### **4.2.3. Seziw elementi bólegin tańlaw**

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchiginiń seziw bólegine qoyılatuǵın tiykarǵı talaplar, joqarı bayqaǵıshlıq hám joqarı tezlikke iyelik, izolyatsion tiykar menen ornatuwdıń qolay bolıwılıǵı hám natıyjeliligi, ólshemleri hám salmaǵı kishiligi hám bahasınıń arzanlıǵı bolıwı kerek.

Usınıń nátiyjesinde seziw bóleginiń joqarı seziwsheńligi, kishi ólshemleri hám joqarı tezlikke ıyelewi elektr energiya támiynatı sistemalarınıń reaktiv kuwat hám energiya aǵısları ushın datchikti jaratıw hám magnit ózgertiw bóleginiń bólimleri arasındǵı hawa aralıǵında izolyatsion tiykarlarǵa jaylastırıw júdá qolay ámelge asırıladı. Seziw bóleginiń differentsial kóriniste islep shıǵarılıwı datchiktiń signal ózgertiw aljasıqların kemeytiw imkaniyatın beredi.

QTEDli ETSniń reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı tokların simmetrik bolmaǵanlıǵı tuwrısında signal beriwge múmkinshilik beretuǵın reaktiv quwat derekleriniń úsh fazalı aǵısların kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriwdegi bayqaǵısh elementti óndiristiń ayriqshalıǵı, magnit ózekte hawa boslıǵı retlengende datchiktiń signal ózgeriw múmkinshilikleri keńeyedi, datchiktiń shıǵıwında bolsa normalanǵan signal támiyinlenedi: 20 V hám tok kernew hám 100 mA. Bunnan elektr toklarınıń muǵdarları hám parametrlerin mikroprotssessor texnologiyasın qollaǵan halda qayta islew nátiyjesinde erisiledi.

### *4.3. Datchikti parametrik izertlew*

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı biremshli toklarınıń ekilemshli kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchiginiń dúzilw parametrlerin tiykarǵı waziypası bolıp belgilengen talaplarǵa juwap beretuǵın hám qabil etilgen racionallıq kriteriyasına muwapıq keliwshi eń jaqsı sapalı, bahalı hám normalanǵan shıǵıw shamaların támiyinlew bolıp tabıladı.

#### **4.3.1. Parametrik izertlew tiykarları**

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı biremshli toklarınıń ekilemshli kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchiginiń ózgeriw bóleklerin proektlestiriwdiń qıyınshılıqlarınan biri  $U_{Esh}$  shıǵıw kernewi ushın maqul túsetuǵınlıq kriteriyasın tańlaw bolıp tabıladı. Datchik jáne onı ózgeriw bóleklerin dúzilisi ushın dáslepki maǵlıwmatlar  $I_K [I_{min}, I_{max}]$  – biremshli kirisiw tokları, biremshli toklardı magnit shamalarǵa ózgeriw bólegi parametrleri, magnit ózektiń bóylama, kese hám vertikal parametrleri magnit ózgeriw bólegi hám bólimleriniń geometriyalıq ólshemleri dissertatsiyanıń ekinshi bapta keń izertlengen, bular seziw bóleginiń parametrleri,  $U_{Eshiq}$  hám  $I_{Eshiq}$  shamalar ekenligi anıqlanǵan.



QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchigin racional parametrik dúziw nátiyjesinde onıń parametrleri hám bahaların óz ishine alatuǵın racional  $I_k, U_{Eshiq}, \delta, W_2, R_\mu$  di tabıw kerek.

Racionallastiriw nátiyjesinde datchiktiń parametrlerin tabıw ushın shıǵıw kernewiniń racionallıǵı kriteriyasınıń maqul túsetuǵın ma`nisi  $U_{Eshiq}$ , - shıǵıw muǵdarı tómendegishe anıqlanadı:

$$U_{Eshiq}(\Pi) = \text{rats. } U_{Eshiq}(\Pi), \text{ rats. } \Pi = D(\Pi), \quad (4.1)$$

bul jerde  $\text{rats. } U_{Eshiq}(\Pi)$  racionallastirilǵan  $U_{Eshiq}(\Pi)$  - shıǵıw kernewi bahaları ;

$D(\Pi)$  - berilgen  $R_\mu$  parametrlar muǵdarları ushın múmkin bolǵan, yaǵnıy olar qabıllawı múmkin bolǵan bahalar sheshimler muǵdarları [19, 26, 27].

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchigin racional dúzilisin anıqlaw processinde datchik óz funktsiyaların orınlawın, kirisiw bahaların ózgertiwi hám ólshew aralıǵınan tısqarıda shiqpaslıǵı hám islewin dawam ettiriwin esapqa alıw kerek, bunda  $I_{kir} = (I_{min}, I_{max})$ , bul jerde  $I_{kir min}$ ,  $I_{kir max}$  kirisiw muǵdarlarınıń minimal hám maksimal bahaları - reaktiv quwat derekleriniń payda etip atırǵan tokları.

Racional parametrlardi qıdırıw ushın datchiktiń matematikalıq modelleri dúziledi. Matematikalıq modellerdiń maǵlıwmatları analizi sonnan derek beredi, birinshiden, datchikler informatsion bolıp tabıladı, ekinshiden, olar haqıyqıy ózgertiw processlerinde qatnasadılar (II hám III baplar maǵlıwmatları tiykarında islep shıǵılǵan hám usınıs etilgen programmalıq támiynattan alınǵan tájiriyebe maǵlıwmatlar hám matematikalıq modellerdiń sáykesligin tastıyıqlaydı), úshinshiden, shıǵıw muǵdarı hám matematikalıq modellerdiń parametrleri ózgermeli

parametrler hám muǵdarlardıń kirisiw tásirleri menen óz-ara baylanıslılıǵın anıq sáwlelendiredi, tórtinshiden, bul matematikalıq modeller júdá jón hám mikroprotsesssor qadaǵalaw hám basqarıw sistemaları qollanılǵan. Joqarıda ayılǵanlardıń barlıǵı bul matematikalıq modeller maqul túsetuǵın dúzilıw ushın isletiletuǵın matematikalıq modellerge qoyılatuǵın talaplarǵa tolıq juwap beriwin kórsetedi. QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchigine tiykarlanǵan ózgeriw komplekslerinde proektlestiriwde eń úlken wazıypalar anıqlıqtıń asıwı, sızıqlı statikalıq xarakteristikani alıw, isenimlilikniń asıwı, diapazon hám signal ózgeriw múmkinshilikleriniń keńeyiwi menen baylanıslılıǵı anıqlanǵan.

#### **4.3.2. Datchikti statikalıq xarakteristikasını sızıqlılıǵı kriteriyası boyınsha izertlew**

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchigin statikalıq xarakteristikası modeli tiykarında joqarı seziwsheńlik hám sızıqlılıqtı támiyinlew kriteriyası boyınsha izertlew wazıypası tómendegishe qalıplestirilgen.

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchiginiń dúzilisi belgilengende onıń kernew kórinisindegi shıǵıw signalı tómendegishe anıqlanadı:

$$U_{Eshiq} = k I_K. \quad (4.2)$$

Ulıwma halda, (3.2) de keltirilgen statikalıq xarakteristikani tómendegishe ańlatıw múmkin:

$$U_{Eshiq} = \int [I_K, \Pi(B)], I_K \in I_{K \min} I_{K \max}, \Pi(B) \in D(\Pi), \quad (4.3)$$

bul jerde  $\Pi = \{ \Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_n \}$  – ózgermeli parametrlerdiń vektorı (datchik ózgeriw bóleginiń geometriyalıq ólshemleri hám basqalar);  $B = \{ B_1, B_2, B_3, \dots, B_n \}$  – Tásir etiwshi parametrler vektorı (birlemshi toklar, magnit aǵıslar, sırtqı temperatura hám basqalar ).  $n$  - ózgermeli parametrler sanı;  $m$  - tásir etiwshi shamalar sanı.

Izertlewler nátiyjesinde  $\Pi(B) \in D_n$  parametrlerdiń maqul túsetuǵın vektorı tómendegishe tabılǵan:

$$U_{Eshiq}(\Pi(B)) = [paq U_{Eshiq}(\Pi(B), I_K), D(\Pi) = \{ \Pi: b_i \leq \Pi_i \leq c_i, \Pi_i \geq 0, i = 1, n \}]. \quad (4.4)$$

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchiginiń statikalıq xarakteristikasın sızıqlılıǵın támiyinlew wazıypası datchiktiń haqıyqıy sızıqlı bolmaǵan statikalıq qásiyetlerin sızıqlı baylanıslılıq penen jaqınlastırıw jolı menen hal etilgen:

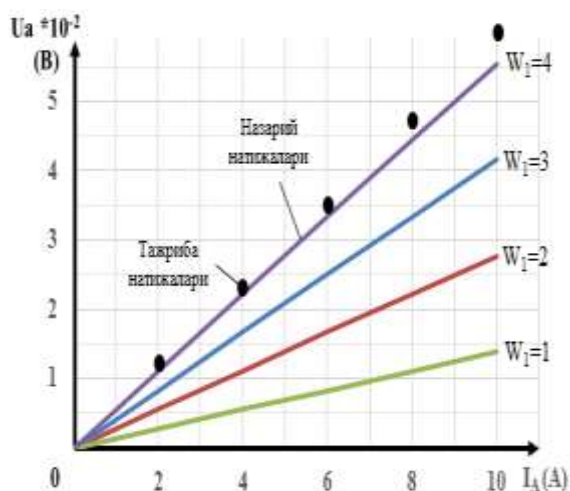
$$U_{Eshiq} = AI_K + B. \quad (4.5)$$

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw datchiginiń shıǵıw kernewi hám datchiktiń modeli tiykarında alınǵan statikalıq xarakteristikası funktsiyaların jaqınlıǵı kvadratik integral jaqınlıq kriteriyasın qollaǵan halda tómendegi analitik ańlatpaǵa iye bolamız:

$$\min F = \int_{I_{ЭК} \text{ мин}}^{I_{ЭК} \text{ макс}} (U_{Эчик}(I_{ЭК}) - AI_{ЭК} - B) dI_{ЭК} \quad (4.6)$$

QTEDli ETS reaktiv quwatınıń kóp fazalı tokın qadaǵalawı hám basqarıwı ushın islep shıǵılǵan datchikni tájiriye stendi arqalı alınǵan nátiyjelerdi teoriyalıq esaplanǵan nátiyjeler menen salıstırǵanimızda ámeliy nátiyjeler teoriyalıqǵa áyne jaqınlıǵı kórsetilgen.

Datchiktiń seziw bóleginiń ekilemshi oramlar sanı  $W_2=20$  bolǵanında birlemshi oramlar sanınıń shıǵıw toklarındaǵı túrli bahalarında shıǵıw kernewiniń ózgerisleri 4.3-suwretde keltirilgen.



4.3- súwret. Datchiktiń seziw bóleginiń ekilemshi oramlar sanı  $W_2=20$  bolǵanında birlemshi oramlar sanınıń shıǵıw toklarındaǵı túrli bahalarında shıǵıw kernewiniń ózgerisleri

ETS tarmaǵı reaktiv quwatları derekleri kóp fazalı birlemshi tokları hám datchik shıǵıw kernewi arasındǵı baylanıslılıqlardıń statikalıq xarakteristikaları reaktiv quwat deregi juldızsha hám úshmúyeshlik formada jalǵanǵanda shıǵıw kernewleri ózgerisleri teńlemelerde keltirilgen. Olar tiykarında datchiktiń sıızıqlı statikalıq xarakteristikaları  $A=A(I_{\text{ЭК}}, \Pi(B))$ ,  $B=B((I_{\text{ЭК}}, \Pi(B)))$  ba  $\Pi(B) \in D(\Pi)$  koefficiyentlerdiń tiyisli bahalarında hám bul koefficiyentlerdi qáleplestiriwshi P parametrlerdiń racional bahalarında tabıladı.

### 4.3.3. Anıqlıq hám operativlik kriteriyaları boyınsha proektlestiriw

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeritiw

datchiginiń anıqlıǵı belgilengen entropiya qateligi tiykarında anıqlanadı hám anıqlıq kriteriyası boyınsha racional parametrik izertlew mashqalası  $\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots \dots \Pi_H\}$  hám  $B = \{B_1, B_2, B_3, \dots \dots B_H\}$  sonıń ushun.

$$A(I_{\text{ЭК}}, \Pi(B)) = \min_{\Pi(B) \in D(\Pi)} \Delta_{\text{Э}}(I_{\text{ЭК}}, \Pi(B)), I_{\text{ЭК}} \in (I_{\text{К min}} I_{\text{К max}}), \quad (4.7)$$

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchiginiń ózgertiw bólekleriniń tezligi dinamikalıq qásiyetleri menen belgilenedi, tezlik hám inertsianiń tiykarǵı kórsetkishi waqtınıń turaqlısı T bolıp tabıladı.

Bólek elementlerdiń waqıt konstantalarına tiykarlanıp, biz pútkil  $T_{\text{TP}}$  datchiktiń waqıt turaqlılıǵın esaplawımız múmkin. Usınıń menen birge  $T_{\text{TP}}$  ni teoriyalıq yamasa eksperimental túrde alınǵan ótiw sızıqlarınıń jaqınlasıwı tiykarında da alınǵan.

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchiginiń islew kriteriyasına muwapıq minimal  $T_{\text{TP}}$  waqıt turaqlısın tabıw mashqalasına shekem kemeytiriliwi múmkin.

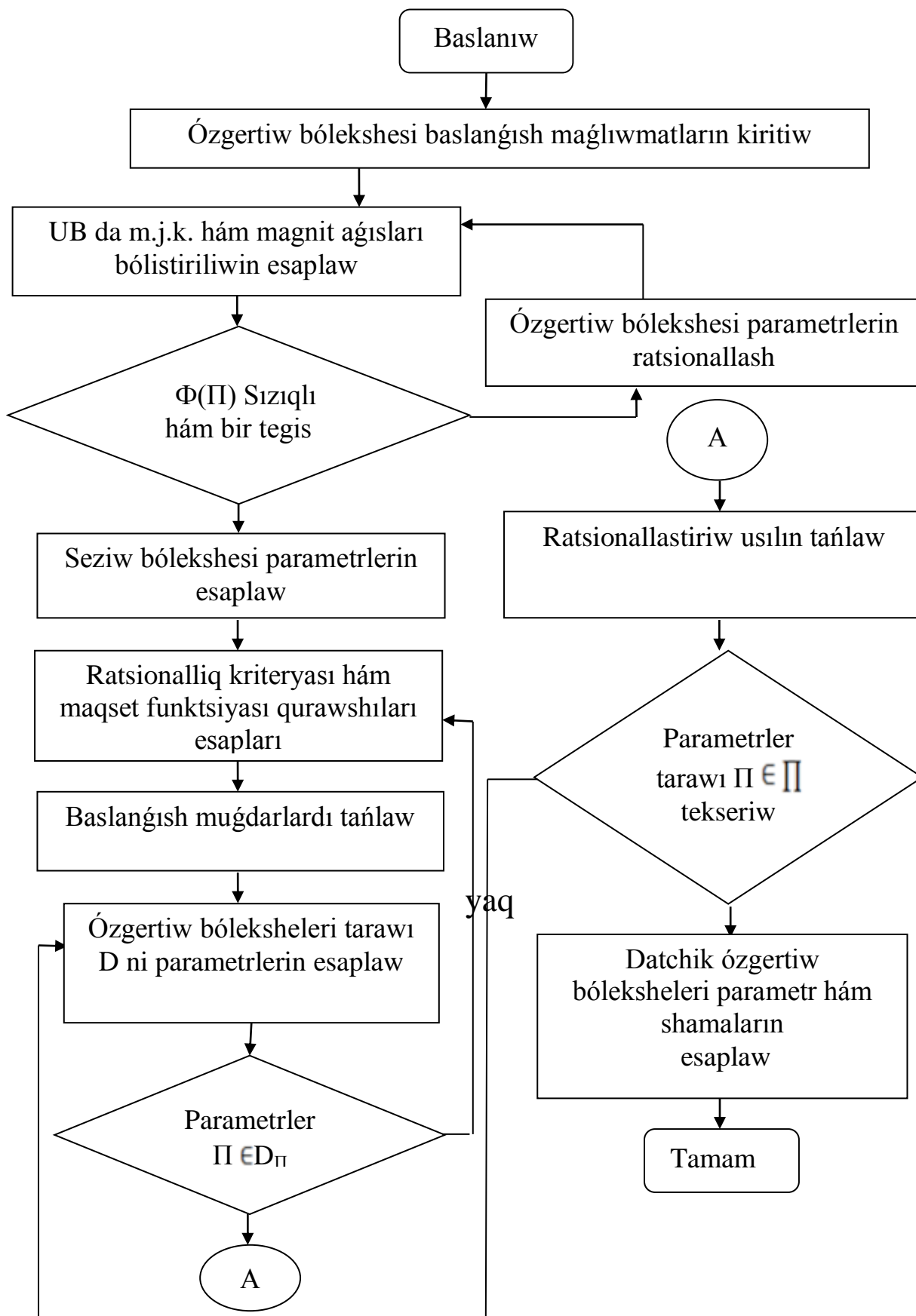
$$F(I_{\text{ЭК}}, \Pi(B)) = \min_{\Pi(B) \in D(\Pi)} T_{\text{TP}}(I_{\text{ЭК}} \in (I_{\text{К min}} I_{\text{К max}})), \quad (4.8)$$

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchiginiń ózgertiw bóleksheleri parametrlerin esaplaw hám islep shıǵılǵan racionallaw algoritminiń blok sxeması (3.4-súwret) algoritmniń tiykarǵı basqıshları QTEDli ETSniń reaktiv quwatın basqarıwı hám basqarıw sistemaları talaplarınan kelip shıqqan halda kirisiw maǵlıwmatları qatarın tayarlawda, bólistiriwdi esaplaw hám berilgen bólistiriwge erisiw hám magnit aǵımı, datchikniń parametrlerin esaplawda, nátiyjelerdi racionallaw

kriteryası, sheklewlerdi qalıplestiriwde maqul túsetuǵın usılın tańlawda, ózgermeli parametrler ushın daslepki jaqınlıqlardı hám  $P = (P_1, P_2, P_3, \dots, P_N)$  - sheshimler salasın tańlawda isletilingen.

QTEDli ETS reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi toklarınıń ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgertiw datchiginiń ózgertiw bóleklerin izertlew 4.2-suwretde kórsetilgen algoritmǵa muwapıq ámelge asırılǵan. Datchik dúzilisiniń principiniń ulıwma stilistikası tiykarında basqıshpa-basqısh parametrik esaplaw hám izertlew ámelge asırılǵan.

D (P) ruxsat berilgen bahalar kompleksiniń P birlemshi jaqınlasıwınıń muǵdarın tekseriw, parametrik racionalizatsiya usılın tańlaw, mashqalanıń kóp qırılı ekenligin tekseriw, qıdırıw maydanında  $U_{eshiq}$  shıǵıw kernewleriniń maqul túsetuǵın muǵdarların tekseriw, esaplangan bahalar hám parametrler anıqlanǵan.



4.4- súwret. Datchiktiń ózgeriw bóleksheleri parametrlerin esaplaw hám racionallaw algoritminiń blok sxeması

#### ***4.4. Reaktiv quwattıń kóp fazalı birlemshi tokların qadaǵalawı boyınsha basqarıw qásiyetleri hám quralları***

QTEDli ETSi reaktiv quwatları derekleriniń elektr tarmaqlarında elektr energiyasın joqetiwge tásiri ulıwma elektr energiya islep shıǵarıw kóleminiń 15-20% in quraydı.

ETSda energiya hám quwat joytıwların kemeytiw ushın tómendegi wazıypalardı orınlaw zárúr:

- elektr júklemeleriniń muǵdarları hám parametrlerin tuwrı basqarıw,
- elektr energiyasın aqılǵa say uzatıw hám tarqatıw,
- elektr energiyasınıń zárúr sapasın támiyinlew,
- energiya qabıl etiwshiniń tarmaq penen elektromagnit sáykesligin támiyinlew energiyani tejew.

Joqarıdaǵı wazıypalardı támiyinlew ushın tómendegi jumıslar ámelge asırıladı:

- sapanı jaqsılaytuǵın basqarılatuǵın reaktiv quwattı oraw quralları jaratıladı,
- transformatorlardıń jugin asırıw, olardaǵı joytıwları kemeytiw, transformatorlardı yukqa jaqınlastırıw, puxta úskenelerden paydalanıw jáne onıń jumıs rejimi aqılǵa say basqarıladı.
- tegishli datchiklerge iye avtomatikalıq elektr támiynatın basqarıw sistemaları járdeminde energiya hám quwat joǵatilshi kemeytiriledi.

ETS reaktiv quwat derekleriniń islew tártibi ush shama menen xarakterlenedi: kernew, tok hám quwat. Reaktiv quwat hám elektr energiyanı ETS tarmaqlarınan aǵıwı úskenelerdiń jumısın jamanlastıradı, yaǵniy reaktiv toklar menen júkleniw ETS elektr tarmaqları hám elektr qabıl etiwshilerge joǵalıwları asıradı.



Bul jumıstıń maqseti statikalıq kosinusli kondensatorlar reaktiv quwat dereklerin juldızsha yamasa úshmúyeshlik sxemalar boyınsha jalǵaw ushın eń maqul túsetuǵın jaydı anıqlaw, olardıń kuwatin hám túrin anıqlaw hám ETSniń islewin aqılǵa say etiw ushın tiyisli kóp fazalı toklar datchikleri hám olardıń basqarıw úskeneleri jaratılǵan hám izertlengen. ETS reaktiv kuwatiniń balansın basqarıw hám statikalıq kondensator batareyaları jalǵanatuǵın jayın tańlaw, hár qıylı variantlardıń ǵárezetlerin salıstırıw arqalı ámelge asıriladı. Esaplangan elektr júkleme, ámeldegi reaktiv quwat derekleri hám reaktiv quwattı uzatıw wazıypalarına tıykarlanıp, minimal baxalarda basqarılatuǵın kondensator batareyalarınıń quwatı aniqlanadı. Reaktiv quwat derekleri, mısalı kondensator batareyaları, olarǵa tiykarǵı datchikler jalǵanıwları ushın mikroprotessorli basqarıw sisteması usınıs etilgen. Datchik formasında birlemshi qabıllaw hám qayta islew ushın basqarılatuǵın apparattıń maqsetlerinen biri ETS tarmaqlarında islewge mólsherlengen statikalıq kondensatorlardı tártipke solıwshı datchiktiń funksiyaların orınlawı kórsetilgen.

Mikroprotessorlı basqarıw sistemasında ETS reaktiv quwat derekleri ushın JKW58 PFR-12 túrdegi reaktiv quwat kompensatsiyası kontrolleri usınıs etilgen hám ol 4.5 -suwretde keltirilgen.



4.5- súwret. ETS reaktiv quwat derekleri ushın mikroprotessorli basqarıw sistemasında JKW58 PFR-12 tipli reaktiv quwat kompensatsiyası kontrolleri

Tájiriybeden alınǵan ETS reaktiv quwat derekleri ushın mikroprotessorli basqarıw sistemasında JKW58 PFR-12 túrdegi reaktiv quwat kompensatsiyası kontrolleriniń parametrleri 4.1-keste de keltirilgen.

#### 4.1-keste

### JKW58 PFR-12 túrdegi reaktiv quwat kompensatsiyası kontrolleriniń parametrleri

№	Atamasi	JKW58 PFR reaktiv quwat kompensatsiyası kontrolleri
1	Svetodiotli / ЖК-displey A. Úsh fazalı kernew, tok, aktiv hám reaktiv quwatlı B. Quwat koeffitsenti hám tarmaq jiyliǵı, basqarıw parametrleri	
2	Kúshli kesentke qarsı shıdamlı, 2 kV test impulsıǵa sabırlı, maǵlıwmatların saqlaydı.	
3	Basqarıw maǵlıwmatların ózgeriw múmkin, ol maǵlıwmatlardı energiya támiynatısız saqlaydı.	
4	Faza funktsiyasın avtomatikalıq analiz etedi	
5	Toqlı, signallı qarsılıǵı 0, 05 Ω den kishi	
6	Oǵada kernew, kernew astında faza funktsiyalı qorǵalmaǵan	
7	Kirisiw usılı: statikalıq, dinamikalıq, aralas	
8	Nominal kernew	AC 220 B ± 10% AC 380 B ± 10%
9	Nominal tok	AC 0-5A
10	Nominal jiylik	50Гц ± 5%
11	Seziwsheńligi	100 mA
12	Ornatılǵan COS & phi;	0,80-0,99; Qádem uzınlıǵı 0, 01; Zavodta ornatılǵan kirisiw hám kesiw waqıtı 0,98
13	Kirisiw keshiktiriliwi	Dinamikalıq jaǵdayı 100 ms-30 s; statikalıq jaǵdayı 1-250 s; Zavodta ornatılǵan dinamikalıq jaǵdayı 5 s; Statikalıq jaǵdayı jılına 30-e.

14	Oğada kernewden saqlanıwı	230-260 V; Qádem uzınlıǵı 1 V; Qaytıw ayırmashılıǵı 6 V den 240 V ge shekem
15	Kishi kernewden qorgawı	180 V; Qaytıw ayırmashılıǵı 6 V
16	Fazalardıń avtomatikalıq ózgeriwi	Qosıw/Óshiriw; Zavodta ornatılǵan (avtomatikalıq diskriminirlangan)
17	Reagent qızıl shegarası	OFF-4-100 KVar; Zavod sazlanbalari (Noeffektli reaktiv shegarası )
18	KT ózgerisleri	50/5A-3000/5A; Qádem uzınlıǵı 1; Zavodta ornatılǵan 500/5 A
19	Turaqlı sıyımlılıq, universal kondensator sıyımlılıq	0-99 kVar hár bir filialdıń ornatılǵan faktori 10 kVar
20	Kontakt sıyımlılıq	Hár bir filialdıń dinamikalıq shıǵıw jaǵdayı DC 12 B × 50 mA Hár bir filialdıń statikalıq shıǵıw jaǵdayı 380 V × 7A/200B × 5A
21	Ólshemi	113*113 138*138

JKW58 PFR-12 Túrdegi reaktiv quwat kompensatsiyası kontrolleriniń múmkinshilikleri:

1. Tekseriw signalı: Eki fizikalıq muǵdardı reaktiv tokı hám quwat koeffitsenti járdeminde kompleks basqarıw.
2. Qádem: Qádem sanı, saylanǵan paydalanıwshı
3. Maǵlıwmatlar saqlanıwı: Maǵlıwmatlar elektr tarmaǵı uzulgennen keyin de óship ketpeydi, mudamı saqlanadı.
4. Maslasıwshańlıq: Kontrollerdiń túrli parametrlerin tarqatıw sistemasına avtomatikalıq iykemlesiw,

5. Tok transformatorlardıń transformaciya koeffitsenti hám kondensatordıń kompensatsiya sıyımlılıǵın támiyinlewdi talap etpeydi.

6. Oǵada kernewden qorgaw: Joqarı kernew, ornatılǵan bahaǵa salıstırǵanda operativ kernew, kondensatorlardıń basqıshpa-basqısh rezektsiyasi.

7. Kúshli irkinishge qarsı: Qolay dúzılıw, islemeslik, ajıralmaytuǵın, ekspluataciyada ajıralmaytuǵınlıq hádiyesi júz bermesligi múmkin.

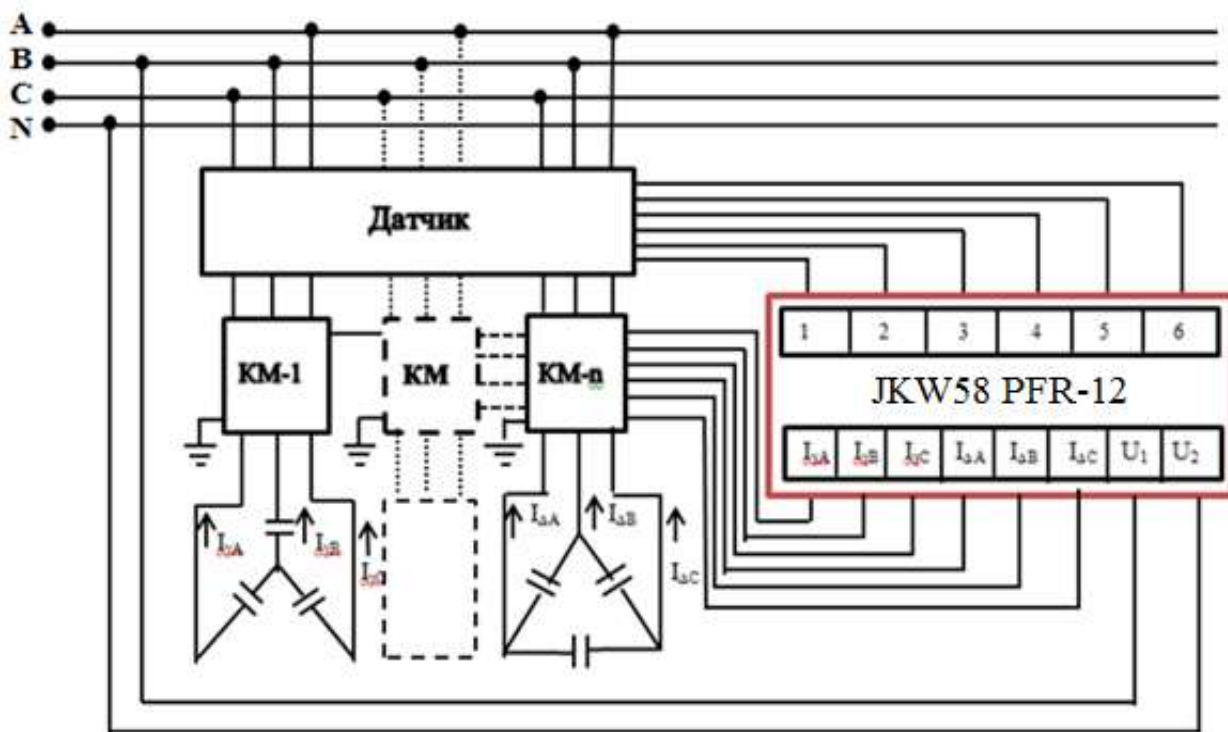
8. Impuls zarbasi: Kishi tok júklemesi hám asa kernewdi aldın aladı.

9. Joqarı seziwsheńlik: tok 0, 10 A bolǵanda, kompensator kirisiw signalında normal jaǵdayda islewi múmkin.

10. Displaydıń anıqlıǵı : Az muǵdardaǵı ólshew aljasıqlarınan kelip shıqqan halda kirisiw signalınıń quwatı 0, 10 A den 5 A ge shekem ózgeriwin minimal jaǵdayın ólchey aladı.

Ámeldegi identifikaciyası: kontroller ózgerkishti tuwrı diskretizatsiyalaw hám avtomatikalıq tańlawı múmkin.

Kóp fazalı toklar datchiginiń mikroprotsessorga tiykarlanǵan reaktiv quwat deregin basqarıw sisteması jaratılǵan hám jalǵanıw sxeması 3.6-suwretde keltirilgen.



4.6- súwret Kóp fazalı toklar datchiginiń mikroprotsessorǵa tiykarlanǵan reaktiv quwat deregin basqarıw sisteması menen jalǵanıw sxeması

Kóp fazalı reaktiv quwat derekleriń tokların bahaları hám parametrlerin qadaǵalaw hám ólshewge tiykarlanǵan reaktiv quwat dereklerin basqarıwı tómendegi ayrıqshalıqlarǵa iye:

- reaktiv quwat derekleri payda etken kóp fazalı toklar shamalar hám parametrlerin basqıshba - basqısh basqariliw múmkinshiligine iye,

- reaktiv kuwattiń kóp fazalı tokları kompensatsiya tiykarında ETSda kernew joǵatılıwı kemeytiriledi,

- reaktiv kuwat deregi málim sharayatlarda tekǵana isletilingen reaktiv quwat balansı, bálki qadaǵalawdıń sapası, tártipke saliniwi jaqsılanadı

kondensator batareyaları kórinisindegi reaktiv quwat derekleri ETSda ornatiw jayları, statikalıq rejimde islewi, elektr tarmaǵındaǵı kernew turaqlılıǵın támiyinlew, ekonomikalıq jaqsı

kórsetkishke iyeligi boyınsha eń keń tarqalğan hám aqılğa say reaktiv quwat deregi bolıp xızmet etedi.

Sonday etip, reaktiv quwattı tutınıw hám jetkiziwdi tártipke salıw ETSniń basqarılatuǵın kóp fazalı ózgermeli toklarına muwapıq kommutatsiya apparatları - iske túsirgishlar hám tiristorlarǵa jetkezip beriletuǵın basqarıw tásinin ámelge asırıw tek kóp fazalı toklardı ekilemshi kernewge ózgerkishlerdi qollaǵan negizindegi ámelge asırıw joqarı texnikalıq hám ekonomikalıq kórsetkishlerdi támiyinleydi. Kóp fazalı qadaǵalaw hám reaktiv quwat derekleriniń basqarılatuǵın tokları tárepinen jaratılğan magnit aǵıslardıń tasirin esapqa alıw hám bir waqıttıń ózinde quwat deregi kernewin turaqlılastırıw sebepli erisiledi.

#### ***4.5. Datchiktiń ámeliy izertlew nátiyjeleri***

QTEDli ETSlarınıń reaktiv quwatı kóp fazalı birlemshi tokların ekilemshi kernewge ózgeriw procesin basqarıwdıń tiykarǵı quralı retinde signal ózgeriw datchikleri xızmet etedi.

Islep shıǵılğan QTEDli ETSlarınıń reaktiv quwatı kóp fazalı tokları qadaǵalaw hám basqarıw datchikleriniń strukturaları 4.7 -a hám b súwretlerde keltirilgen.



a)



b)

4.7– súwret. Qayta tikleniwsheń energiya derekli elektr támiynat sistemasınıń reaktiv quwatı kóp fazalı tokları qadaǵalaw hám basqarıwı datchikleriniń strukturaları. a) bir biremshli oram - bir ótkeriwshili, b) eki biremshli oram - eki ótkeriwshili kórinisi

QTEDli ETSniń reaktiv quwatı kóp fazalı tokları qadaǵalaw hám basqarıw datchiginiń parametrleri:

$I_{\text{IH}}$  - Biremshli nominal tok 76 (131) A

$I_{\text{II}}$  - Diapazon keńligi  $0 \pm 150$  A

$R_{\text{II}}$  - Ólshew qarsılıǵı  $R_{\text{ИМИН}} \pm 20 \text{ B,}$   $R_{\text{ИМАКС}} \pm 250 \text{ A}_{\text{МАКС}}$  100 320

OM

$I_{\text{BH}}$  - Ekilemshli nominal tok 25 mA

$K_{\text{H}}$  - Ózgeris koefficiyentleri 1-2-3-4-5 : 100

$U_c$  – Normallastırılǵan kernew: Bólek 600 B

Izolyatsiya 1700 B

**Anıq dinamikalıq maǵlıwmatlar:**

X — Anıqlıq  $I_{\text{IH}}$   $T_A = 25^\circ\text{C}$   $\pm 0,5 \%$

E — Sızılıq				< 0,2 %
I <sub>c</sub> — Toktiń ıssılıq atıwı	0 <sup>0</sup> C..+25 <sup>0</sup> C	±0,06	±0,25	MA
	+25 <sup>0</sup> C..+70 <sup>0</sup> C	±0,10	±0,35	MA
t — Waqıt	90% I <sub>PMAK</sub>	<1		MKC

### **Tiykargı maǵlıwmatlar**

T <sub>o</sub> — átirap - ortalıqtıń jumısshı temperaturası	0..	+70	<sup>0</sup> C
T <sub>x</sub> — jumısshı temperaturanıń saqlanıwı	-25..	+85	<sup>0</sup> C
R <sub>B</sub> – Birlemshi qarsılıq	T <sub>Л</sub> = 25 <sup>0</sup> C		<1,25 MOM
R <sub>И</sub> – Ekilemshi oram qarsılıǵı	T <sub>Л</sub> = 70 <sup>0</sup> C		110 OM
R <sub>И</sub> – Izolyatsiya qarsılıǵı	500 V, T <sub>Л</sub> = 25 <sup>0</sup> C	>1500 MOM	>1500 MOM.

Elektr energiya reaktiv quwat dereklerin mikroprotessorli avtomatikalıq basqarıw blokında ornatılǵan mikroprotessor hám mikro-EHMlerdiń qollanıwı elektr tarmaqlar, elektrotexnik hám elektr energetikalıq apparatlarınıń zaqım aliwındaǵı ziyandi kemeytiw hám islep shıǵarılatuǵın energiyanıń sapasın asırıw ushın xızmet etedi.

Bul dissertatsiya jumısında QTEDli ETSlarınıń reaktiv quwatı kóp fazalı tokları qadaǵalaw hám basqarıw datchikleriniń izertlewi ushın paydalanılǵan Cloud Computing texnologiyaları - informaciya texnologiyalarınıń servisi retinde internet arqalı kórinetuǵın etiledi.

Cloud - informaciya texnologiyaları infraduzilmalariniń innovciyalıq modeli bolıp, ol bólek ajratılǵan hám bólistirilgen konfiguratsiyalangan aparat hám tarmaq resurslarınan, programmalıq támiynattan dúziledi hám olardıń aralıқтаǵı provayderleriniń maǵlıwmatlar orayında jaylasqan boladı.



Cloud Computing texnologiyasınıń tómenдеgi servis modelleri hám tiykarǵı jetkezip beretuǵın provayderlerden izertlewler dawamında paydalanıldı:

Software as a servise (SaaS) - xızmet retindegi programmalıq támiynat.

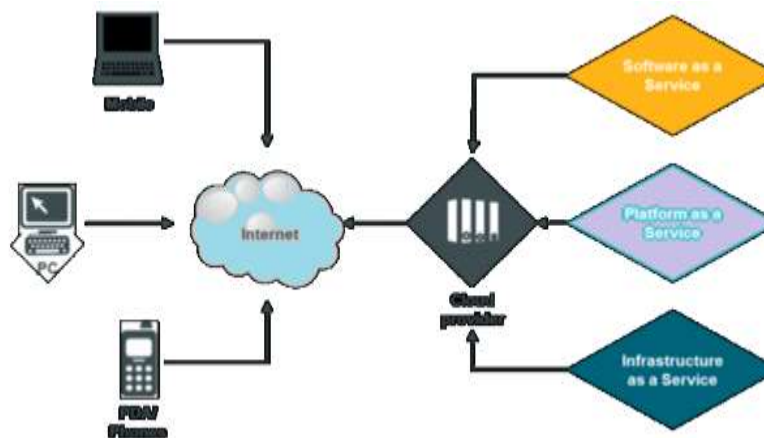
Platform as a servise (PaaS) – xızmet retindegi platforma.

Infrastrucche as a servise (IaaS) – xızmet retinde infraduzılme.

QTEDli ETSlarınıń reaktiv quwatı kóp fazalı tokları qadaǵalaw hám basqarıwı datchikleriniń izertlewler ushın Internet arqalı usınıp atırǵan Cloud Computing xızmetleriniń ulıwma kórinisi 4.8 - suwretde keltirilgen.

“Elektr támiynatı sistemasında reaktiv quwat dereklerin engiziw ǵárezetlerin oraw múddetin esaplawdıń algoritmı hám programmalıq támiynatı” atlı programmalıq qural ETSda reaktiv quwat dereklerin basqarılıwshi quwatların tańlaw hám engiziw ǵárezetlerin oraw múddetin kemeytiwdi itibarǵa alǵan halda esaplawdı támiyinlew ushın mólsherlengen bolıp onıń funksional múmkinshiligi tómendegiler menen anıqlama beriledi:

-ETSda basqarılıwshi reaktiv quwat dereklerin muǵdarın anıqlaw hám engiziw ǵárezetlerin oraw múddetin kemeytiwdi itibarǵa alıw, reaktiv quwat derekleri ornatılmagan jaǵdayda transformator hám kabeldegi qosımsha ısıraplardı anıqlaw, bir jıllıq elektr energiya ekonomikasın esaplaw hám basqarıw izertlewleri processinde ózgartiriliwshi reaktiv quwat muǵdarların anıqlaw;



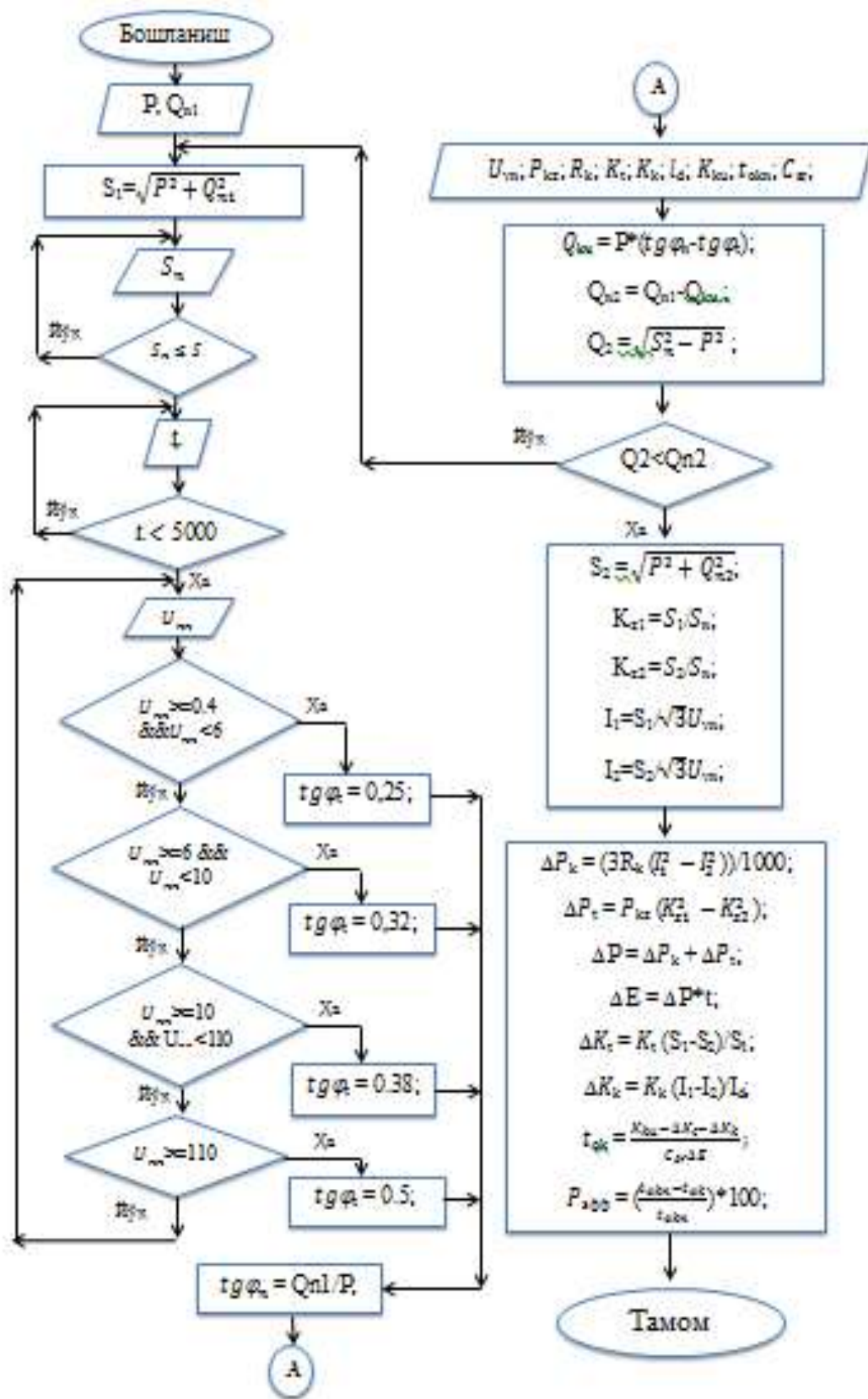
4.8- súwret. QTEDli ETSlarınıń reaktiv quwatı kóp fazalı tokları qadaǵalaw hám basqarıwı datchikleriniń izertlewler ushın Internet arqalı usınıp atırǵan Cloud Computing xızmetleriniń ulıwma kórinisi.

- ETSda reaktiv quwat dereklerin engiziwde ǵárezjetlerin oraw múddetin kemeytiwde basqarıw shama hám parametrlerin ózgergiliwin izertley alıwǵa mólsherlengen.

Úzliksiz energiya menen támiyinlewde quyash energiya támiynatı, akkumulyator batareyası hám de zárúr bolǵanda oraylasqan energiya támiynatı jolǵa qoyılǵan bolıp, stanciyaniń sirtqi hám ishki kórinisleri 4.9-súwretde keltirilgen.

Programma elektr apparatlarındaǵı tokti kernewge ózgeritiw processlerinde qatnasıwshi shama hám parametrlerdi ratsional esaplaw tiykarında, shıǵıw kernewi 20 V den kishi bolǵan signallardı izertlew hám apparattıń signal ózgeritiw shamaları hám parametrlerdi esaplaw múmkinshiliklerine iye.

QTEDli ETS reaktiv quwatın kóp fazalı tokın qadaǵalawı hám basqarıwı ushın islep shıǵılǵan datchiklerni, derekler sanına sáykes keletuǵın mikrokontrollyorlar blokın, usınıs etilgen algoritm boyınsha jaratılǵan programmalıq támiynattı ámeliy qollaw tiykarında elektr energiya tejew 1,8 % ke asırılıp, sınaq waqtında QTEDli ETS reaktiv quwatın kóp fazalı tokın qadaǵalawı hám basqarıwı arqalı energiyadan nátiyjeli paydalanıw múmkinshiligi usınıldı.



4.9- сүврет. Elektr тэмйнатı sistemasında reaktiv quwat dereklerin engiziw gárejetlerin oraw múddetin esaplawdıń algoritmı hám programmaliq tэмйнатı algoritminiń blok sxeması

## JUWMAQ

---

«Qayta tikleniwshi energiya derekli elektr táminat sistemaları reaktiv quwattı basqarıwdıń kóp fazalı birlmshi tokların ekilemshi kernewge ózgertiw datshiginiń modelleri hám dúzilis principleri» temasındaǵı magstrlik dissertatsiyası boyınsha alıp barılǵan izertlewler nátiyjesinde tómendegi juwmaqlar usınıs etiledi:

1.QTEDli ETSlarında reaktiv quwat kompensatsiyası hám oni islep shıǵarıwdıń analizi sonı kórsetedi, tutınıwshılardıǵa úzliksiz hám sapalı elektr energiya jetkiziwdi támiyinlewde reaktiv quwattı islep shıǵarıw hám basqarıwı boyınsha izertlewler ótkeriw talap etiledi.

2.QTEDli ETSda reaktiv quwat dereklerin qadaǵalaw hám basqarıwdıń signal datchiklerin ayırıqsha qásiyetleri analiz etildi hám nátiyjede qadaǵalaw hám basqarıwdıń signal datchikleri zárúrli qural bolıp, olar ETS kernewin basqarıwı ushın jetkilikli reaktiv quwat islep shıǵıwın támiyinlew tiykarında quwat boyınsha óz-ara sinxronlawdi támiyinlew, apparatlar energiya támiynatında reaktiv energiya hám quwattı úzliksiz túrde QTEDli ETS tarmaǵına jalǵawdı támiyinlew imkaniyatın beriwi anıqlandı.

3.QTEDli ETSniń reaktiv quwat dereklerin jalǵanıwı, olardıń natiyjeliligini qadaǵalaw hám basqarıw signal datchiklerin Cloud computiung texnologiyası boyınsha ornatılıwı imkaniyatı anıqlandı.

4.ETSlarda elektr tokların qadaǵalaw hám basqarıwdıń elektromagnit datchikleriniń tiykarǵı klassifikaciyaları hám dúzilisleri salıstırıldı.

5.ETSlar reaktiv quwatın qadaǵalaw hám basqarıw sisteması ushın dúzilisi, tayarlaw texnologiyasınıń ápiwayılıǵı, joqarı isenimlilik hám puxtalıǵı menen birlmshi tok mánisin kernew

kórinistegi shıǵıw signalına ózgeritiretuǵın tok ózgertkishleri eń perspektivalı ekenligi anıqlandı.

6.ETSniń reaktiv quwatı derekleriniń kóp fazalı tokları qadaǵalawı hám basqarıwı elektromagnit datchiklerinde júz beriwshi signal ózgeriw processleri hám datchik elementleriniń dúzilisi tiykarları analiz etiliwi nátiyjesinde kóp fazalı birlemshi toklardı ekilemshi kernew kórinisindegi signalǵa ózgeriw hám operativlik sıyaqlı tiykarǵı talapların qanaatlandıruwı anıqlandı.

7.Kóp fazalı birlemshi toklar datchikleriniń dúzilisin racional tańlaw hám datchik xarakteristikaların hám parametrlerdı jaqsılaw, ózgeriw bóleklerin izertlew, birlemshi toklardı ekilemshi kernewge ózgeriw bóleginiń jáne onıń bólekshelerin geometriyalıq ólshemlerin racionallaw usılı algoritmları jaratıldı.

8.QTEDli ETSda reaktiv quwat dereklerin kóp fazalı birlemshi toklar datchikleriniń statikalıq xarakteristikasını sıziqlılıǵı kriteriyası boyınsha izertlenip, datchiktiń seziw elementiniń ekilemshi oramlar sanı  $W_2=20$  bolǵanında birlemshi oramlar sanınıń shıǵıw toklarındaqı túrli bahalarında shıǵıw kernewiniń ózgerislerin tájiriye hám teoriyalıq izertlewler nátiyjeleri arasındaqı ayırmashılıǵı 3-4 % ti shólkemlestiriwi anıqlandı.

9.Elektir támiynatı sistemalarında reaktiv quwat kórsetkishlerin esaplawdıń islep shıǵılǵan Cloud Computing modeli, izertlew algoritmı hám programmalıq támiynatı tiykarında tutınıwshılardıń reaktiv quwat dereklerin tańlaw hám baqlaw hám de engiziw ǵárezetlerin oraw múddetin hám energiya nátiyjelilikti reaktiv quwat kórsetkishleri boyınsha bahalaw imkaniyatın berdi.

## SHÁRTLÍ QISQARTPALAR

---

QTED – qayta tikleniwshen energiya deregi  
ETD – Energiya táminatı dizimleri;  
P – aktiv quwat;  
Q – reaktiv quwat;  
R – aktiv qarsiliq;  
X – reaktiv qarsiliq;  
Ix – esapli toq;  
Sx – toliq quwat;  
OET- oraylasqan elektr táminatı;  
KM-1, KM-n- kontaktorlar;  
MPB-mikroprosessorli basqariw;  
JÓCh – jalpaq ólshew oramı;  
f – elektr tarmağı toǵiniń ózgeriw jiyliǵı;  
 $\Phi_0$  – quyash batareyasına túsip atırǵan jaqtılıq aǵımı;  
 $U_{\text{ЭЧИК}}$  – Shiǵıw elektr kernewi;  
 $I_{\text{Э}}$  – birlemshi elektr toki;  
 $\Pi_{\text{Э}}$  – elektr shinjiriniń jiynalǵan parametri;  
 $F_{\mu}$  - magnit júritiwshi kúsh;  
 $\Pi_{\mu}$  - datchik ózgartiriw bóliminiń magnit parametri;  
U- kernew;  
 $\omega$  – múyesh tezlik;  
f- jiylik;  
C- kondensator siyım;  
 $U_{\Phi}$  – faza kernewi;  
 $U_{\pi}$  – siziqli kernew;  
 $\gamma$ -juldiz kórinisinde jalǵaniw;  
 $\Delta$ -úshmuyesh kórinisinde jalǵaniw;  
w – oramdaǵı oramlar sani;  
 $U_M$  – ótkizgish tezligi;  
l- ótkizgish uzunlıǵı;

$B_{\mu}$ -magnit indukciya;

S- magnit ótkizgishtiń kesim maydani;

B- magnit ótkizgishtiń eni;

$\delta$ - hawa aralıq geometric ólshemleri;

$F_M$ - toki ótkizgishke tásir qiliwshi kúshi;

b- hawa aralıginiń eni;

PK- reaktiv quwat;

$\mu_0$  – seziw elementleri ornatılğan hawa aralıqlariniń magnit sińdiriwsheńligi;

$\delta_{\mu}$  – seziw elementleri ornatılğan hawa aralıqlar biyiklikleri;

n – ózgeriwsheń parametrler sani;

m – tásir etiwshi shamalıqlar sani;

$T_{\text{ИП}}$  – datchiktiń waqıt dawamlılıǵı;

DC→AC ózgermes tokti ózgeriwsheń tokǵa ózertiriwshi qurılma;

DC júkleme – qurilmaların ózgermes tok júklemesi;

AC → DC ózgeriwsheń tokti ózgermes tokǵa ózertiriwshi qurılma;

AC júkleme – ózgeriwsheń tok júklemesi;

$\Delta U_a$  – aktiv quwat uzatiliwi menen baylanisli bolǵan kernewdiń joǵatiliwi;

$\Delta U_p$  – reaktiv quwattiń uzatiliwi menen baylanisli bolǵan kernewdiń joǵatiliwi;

$I_{\text{ЭкИРА}}, I_{\text{ЭкИРВ}}, I_{\text{ЭкИРС}}$  – ETT úsh fazali elctr tarmaqlariniń datchikleri arqali ótip atırǵan birlemshi faza toklari;

$W_{\text{И1}}, W_{\text{И2}}, W_{\text{И3}}$  – birlemshi qozǵatiwshań qozǵatiwshań oramdaǵı oramlar sani;

$R_{\mu M}$  – magnit ótkizgishlerdegi bir ózekdiń magnit qarsilǵı;

$R_{\mu \check{y}3}$  – qosimsha ózek bólimleriniń magnit qarsiliq;

$l_{\mu M}$  – magnit ótkizgishlerdiń aktiv uzinliǵı hám olar boylap aǵıp atırǵan magnit aǵimi;

$R_{\mu \check{y}3} = l_{\mu \check{y}3} / (\mu S)$  qosimsha ózek bólimleriniń magnit

qarsiliq;

$l_{\mu \check{y}3}$  – qosimsha ózek bólimleriniń aktiv uzunlıǵı hám olar boyınsha aǵıp atırǵan magnit aǵımı;

$S = \Delta l_{\mu M} \Delta l_{\mu \check{y}3}$  – uliwma tiykardıń hám magnit ótkizgishtiń parallel urshıqları hám qosimsha ózek bólimleriniń kesimleri;

$R_{\mu \text{ hawa}}$  – Magnit ótkizgishleriniń urshıqlar arasındaǵı hawa barlıǵı, qosimhsa hawa ótkizgishleriniń urshıqlar arasındaǵı hawa barlıǵı, qosimsha ózek bólimleriniń urshıqlar arasındaǵı hawa aralıǵınıń magnit qarsilǵı;

$\delta$  - uliwma tiykarli ózegi hám qosimsha bólimleri bolǵan magnit ótkizgishiniń parallel urshıqları arasındaǵı hawa aralıqlariniń uzunlıǵı;

$\delta_1$  – qosimsha ózek bólimleriniń shetlerindegi hawa aralıǵınıń uzunlıǵı;

$W_{\check{y}1}, W_{\check{y}2}, W_{\check{y}3}$  – jalpaq ólshew shalgaminiń súwretler sani;

$K_{\Phi_0 U_3}$  – jaqtılıq aǵımın elektr kernewge ózgeriwdiń shıjirlar aralıq baylanis koeficienti;

$K_{I_3 F_{\mu}}$  -elektr úlkenlikti magnit úlkenlikke ózgeritiliwiniń shıjirlar aralıq baylanis koeficienti;

$K_{I_3 F_{\mu}}$  -  $F_{\mu}$  magnit júritiwshi kúshtiń  $I_3$  elektr shıjir birlenshi tokına ózgeris procesiniń shıjirlar aralıq baylanis koeficienti;

$K_{\Phi_{\mu} U_3}$  -  $\Phi_{\mu}$  magnit aǵımınıń  $U_{\text{Э.чирк}}$  ekilemshi shıǵıw kernewine ózgeritilistiń shıjirlar aralıq baylanis koeficienti;

$I_{A\gamma}, I_{B\gamma}, I_{C\gamma}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  -reaktiv quwat derekleri tárepinen islep shıǵılǵan toklar;

$\Phi_{\mu}$  - seziw elementlerin kesip ótkiziwshi magnit aǵım;

$\Pi O_{ij} - \Pi O_{\mu ij}$  – magnit ózek (sterjen) hám hawa aralıq magnit qarsiliqlari;



$F_{\mu i, j}$  m.yu.klardi datchik magnit ózegi (sterjen) hám hawa araliq geometrik ólshemi;

$\Pi_{\Phi\mu FM}$  datchik ózgartiriw bóliminiń magnit parametri;

$F_M$ - ótkizgish toki menen turaqli kúsh;

$dW_\mu$ - magnit maydan energiyasiniń ózgeriwi;

$dX_M$ - elektromagnit elementiniń koordinatalari ózgeriwi;

$W(F_{\mu ij}, F_{\mu in})$  – МАГНИТ magnit ózgartiriw bóleginiń uzatiw funkciyasi;

$U_{a\gamma}, U_{b\gamma}, U_{c\gamma}, U_{a\Delta}, U_{b\Delta}, U_{c\Delta}$  - shigiw kernewleriniń muǵdarlari;

$U'_{a\gamma}$  - jiynalǵan parametrli model tiykarinda alinǵan shigiw kernewi;

$U''_{a\gamma}$  -tarqalǵan parametrli model tiykarinda alinǵan shigiw kernewi;

$\Delta_\vartheta$  – entropiyali qátelik;

$W[I_\vartheta, F_\mu]$  túrli tabiyatli ózgartiriw bólekleri;

$P$  – Datchiktiń is qábileti;

$\text{paц.} U_{\vartheta\text{чик}}(\Pi)$  racionnallastirilǵan shigiw kernewi;

$U_{\vartheta\text{чик}}(\Pi)$  – shigiw kernewi mánisleri;

$D(\Pi)$  - berilgen  $\Pi$  parametrler muǵdarlari ushin múmkin bolǵan mánisler sheshimler muǵdarlari;

$\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_n\}$  – ózgeriwsheń parametrlerdiń vektori;

$B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_n\}$  – tásir etiwshi parametrler vektori;

## QOSÍMSHALAR

---

### *Qosímsha 1.1*

«Elektr táminatı sistemalarında reaktiv quwat dereklerin qollaw ushin o'zine tuser waqtın esaplawdıń dásturli táminatı» atlı

№ DGU №06465 20190478 dın kodlaw tili

Izertlew dástúrińiń C++ dástúrlew tilinde jaziliwiniń tiykargı bólimi:

```
#include <iostream>
```

```
#include <math.h>
```

```
/* run this program using the console pauser or add your own  
getch, system("pause") or input loop */
```

```
using namespace std;
```

```
int main(int argc, char** argv) {
```

```
float P, Qn1, Qn2, S1, S2, t, Kz1, Kz2;
```

```
float Sn, Unn, Uvn, Q2, I1, I2;
```

```
float Pkz, Rk, Kt, Kk, Kku, Qku, Tok, Tokn, Csr=0.77, Id;
```

```
float tgn, tgft, dPt, dPk, dE, dP, dKt, dKk, Pef;
```

```
cout<<"Karxananiń aktiv quwati (kW), P = "; cin>>P;
```

```
qaytiw0:
```

Dástúrdiń C++ dásturlew tilinde jaziliwi toliq bólimi Úlgide keltirilgen (maǵliwmat ushin <https://codescracker.com/cpp/>.

```
{
```

```
cout<<" Karxananiń reaktiv quwati (kVar), Qn1 = "; cin>>Qn1;
```

```
}
```

```
S1=sqrt(pow(P,2)+pow(Qn1,2));
```

```
cout<<" Karxananiń toliq quwati, S1 = "<<S1<<" kVA \n";
```

```
qaytiwh1:
```

```
{
```

```

    cout<<"\nTransformatorniñ toliq quwati (kVA), Sn = ";
cin>>Sn;
    }

    if(S1>=Sn)
    {
        cout<<"Transformatorniñ quwati jeterli emes, oni qayta
kiritiñ!\n";
        goto qaytiw1;
    }

    qaytiw2:
    cout<<"Elektr energiyaniñ max isirap waqti (saat), t = ";
cin>>t;

    if(t<5000)
    {
        cout<<"Energiyaniñ max isirap waqti t>=5000 boliwi talap
etiledi, oni qayta kiritiñ! \n";
        goto qaytiw2;
    }

    cout<<"Transformatorniñ kishi kernewi (kV), Unn = ";
cin>>Unn;

    if(Unn>=0.4 && Unn<6) {
        tgft = 0.25;
    }
    else if(Unn>=6 && Unn<10) {
        tgft = 0.32;
    }
    else if(Unn>=10 && Unn<110) {

```

```

        tgft = 0.38;
    }
    else if(Unn ≥ 110) {
        tgft = 0.5;
    }

    tgfn = Qn1/P; //
    cout<<"Transformatorniń úlken kernewi (kV), Uvn = ";
cin>>Uvn;
    cout<<"Transformatorniń júkleme isirabi (kW), Pkz = ";
cin>>Pkz;
    cout<<"Kabeldiń salistirma qarsiligi (Om), Rk = "; cin>>Rk;

    cout<<"Transformatorniń karxanadaǵı úlesi (sum), Kt = ";
cin>>Kt;
    cout<<"Kabeldiń karxanadaǵı úlesi (sum), Kk = "; cin>>Kk;
    cout<<"Kabeldiń tok ótkeriwsheńlik qásiyeti (A), Id = ";
cin>>Id;
    cout<<"Kompinsatsiyalaw qurilmasiniń karxanadaǵı úlesi
(sum), Kku = "; cin>>Kku;
    cout<<"Ortasha shigimlardi qaplaw waqti (jil), Tokn = ";
cin>>Tokn;

    Qku = P*(tgfn-tgft);
    Qn2 = Qn1 - Qku;
    Q2 = sqrt(pow(Sn,2)-pow(P,2));

    if(Q2 < Qn2) {
        cout<<"Karxananiń reaktiv quwatin qayta kiritiń";
        goto qaytiw0;
    }
    S2 = sqrt(pow(Qn2,2)+pow(P,2));
    Kz1 = S1/Sn; //

```

$$Kz2 = S2/Sn;$$

$$I1 = S1/(sqrt(3)*Uvn);$$

$$I2 = S2/(sqrt(3)*Uvn);$$

$$dPk = (3*Rk*(pow(I1,2) - pow(I2,2)))/1000;$$

$$dPt = Pkz*(pow(Kz1,2) - pow(Kz2,2));$$

$$dP = dPk + dPt;$$

$$dE = dP * t;$$

$$dKt = Kt*(S1 - S2)/S1;$$

$$dKk = Kk*(I1 - I2)/Id;$$

$$Tok = (Kku - dKt - dKk)/(Csr * dE);$$

$$Pef = ((Tokn - Tok)/Tokn)*100;$$

```
cout<<"\nAlinǵan nǎtiyjeler";
```

```
    cout<<"\nKabeldegi qosimsha quwat isirabi, dPk =  
"<<dPk<<" kW";
```

```
    cout<<"\nTransformatorǵı qosimsha quwat isirabi, dPt =  
"<<dPt<<" kW";
```

```
    cout<<"\nKarxananiń bir jildaǵı elektr energiya  
ekonomikasi, dE = "<<dE<<" kW*soat";
```

```
    cout<<"\nTransformator toliq quwatda islegende oniń  
karxanadaǵı úlesi, dKt = "<<dKt<<" sum";
```

```
    cout<<"\nKabeldiń toliq quwatda islegende oniń  
karxanadaǵı úlesi, dKk = "<<dKk<<" sum";
```

```
    cout<<"\nQurilmaniń o`z bahasin qaplaw waqti, Tok =  
"<<Tok<<" yil";
```

```
    cout<<"\nQurilmaniń nǎtiyjeliligi, Peff = "<<Pef<<" %";  
    return 0;
```

```
}
```

## **PAYDALANILGAN ÁDEBIYATLAR DIZIMI**

---

1. O'z DSt 3055-2016 Государственный стандарт Республики Узбекистан. Сети телекоммуникаций. Учрежденческие АТС. Общие технические требования и методы контроля. Издание официальное Узбекское агентство стандартизации, метрологии и сертификации, Ташкент 2016. - 82 с.
2. Ózbekstan Respublikasınıń 2019-jıl 21-maydaǵı ÓRQ-539 -san «Qayta tikleniwshi energiya dereklerinen paydalanıw tuwrısında»gi Nızamı.
3. Ózbekstan Respublikası Prezidentiniń 2017- jıl 26-maydaǵı PQ-3012-san «2017-2021 jıllarda qayta tikleniwshi energetikanı jáne de rawajlandırıw, ekonomika tarmaqları jáne social tarawda energiya natıyjeliligin asırıw ilajları programması tuwrısında» Qarar.
4. 2019-jıl 22-avgustdaǵı PQ-4422-san «Ekonomika tarmaqları jáne social tarawdıń energiya natıyjeliligin asırıw, energiya tejewshi texnologiyalardı engiziw hám qayta tikleniwshi energiya dereklerin rawajlandırıwdıń operativ ilajları tuwrısında»gi Qarar.
5. O'zbekiston Respublikasi prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risida»gi PF-4947 sonli

Farmoni. O'zbekiston Respublikasi qonun hujjatlari toplami. 2017-yil., 6-son, 70 modda.

6. Trankler H. und Reindl I. (Hrsg.), Sensortechnik. Springer, Verlag Berlin Heidelberg. 2014.

7. Друзь Н., Борисова Н., Асанкулова А., Раджабов И., Захидов Р., Таджиев У. Положение дел по использованию возобновляемых источников энергии в Центральной Азии. Прспективы их использования и потребности в подготовке кадров. Алматы, 2010. -140 с.

8. Rafael Barreto. Reactive Power Management. Cuba, Amazon. 2011.- 48 p.

9. Железко. Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. -М.: ЭНАС, 2009. -456 с.

10. Schaumburg H. Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik. Sensoren. Stuttgart: V.G. Teubner, 1992. -517 p.

11. Куликовский Л.Ф., Бровкин Л.А., Лихтцендер Б.Я. Автоматические приборы с бесконтактными компенсирующими преобразователями. -М.: Энергия 1967 г.

12. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном энергоснабжении: монография. -М.: Энрегоатомиздат, 2008. - 231с.

13. Юсупбеков Н.Р., Игамбердиев Х.З., Маликов А.В. Основы автоматизации технологических процессов: Учебное пособие для высшего и среднего специального образования.

В 2-х ч. -Ташкент: ТГТУ, 2007.Ч. 1-152 с.

14. Абубакиров А.Б. Қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминоти тизимлари реактив қуввати бошқарувининг кўп фазали тоқлари датчикларининг моделлари ва тузилиш тамойиллари: Дисс.PhD – Тошкент 2020. -117 б.

15. Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками для комбинированного управления реактивной мощностью энергосистем. Дисс...докт. техн. наук. Твшкент – 2015. -222 с.

16. Сиддиков И.Х., Саттаров Х.А., Абубакиров А.Б., Есенбеков А.Ж., Сарсенбаев Д.Б. «Применение управляемых компенсирующих устройств в системах электроснабжения» // Вестник ККОАНРУз.№2. Нукус, 2018.- С. 27-32.

17. Abubakirov A.B. «Research of the electromagnetic transducers for control of current of three phases nets» // European science review, Scientific journal № 5–6 Vienna, Austria. 2018.- pp. 269-273.

18. Абубакиров А.Б., Курбаниязов Т.У., Ережепов К.Д., Уснатдинов А.Б. Қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминоти тизимини реактив қуввати манбаларининг кўп фазали тоқларини кучланишга узгартириш датчикларни метрологик тадқиқи // Вестник ККОАНРУз.№1. Нукус- 2022.- С. 10-14.



19. Абубакиров А.Б., Баймуратов И.К., Шарипов М.Т., Утемисов А.Д. «Правоприменение управляемых компенсирующих устройств в системах электроснабжения» // Международный научный журнал «Sciences of Europe», VOL 1, No38 (2019), Чехия. 2019.- С. 41-44.

20. Абубакиров А.Б., Сарсенбаев Д.Б. «Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения преобразовательных установок» // Вестник Каракалпакского государственного университета им. Бердаха. №2. Нукус, 2018.- С. 4-7.

21. Абубакиров А.Б. «Принципы компенсации реактивной мощности» // Вестник Каракалпакского государственного университета им. Бердаха. №2. Нукус, 2017.- С. 11-13.

22. Абубакиров А.Б., Курбаниязов Т.У., Ережепов К.Д., Уснатдинов А.Б. Кайта тикланувчан энергия манбали электр таъминоти тизимини реактив куввати манбаларининг куп фазали тоқларини кучланишга узгартириш датчикларни метрологик тадкики // Вестник ККОАНРУз. №1. Нукус- 2022.- С. 10-14.

23. P.M. Matyaqubova, B.X. Ametova, N.A. Djumaniyazova, A.B. Usnatdinov, Sh.B. Kuvatova. Development of an intelligent gas analyzer based on the irspectrometry method // ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. Year: May 2021. Volume: 11,

Issue: 5, Impact Factor: SJIF 2021 = 7.492. Kurukshetra, India.  
Article DOI: 10.5958/2249-7137.2021.01416.6. pp. 441-447.

24. Tolga Ozay, Yuksel Oguz, Xasan Chimen. Energy Flow Control with Using Arduino Microcontroller in Off-Grid Hybrid Power Generation System Including Different Solar Panels and Fuel Cell // Measurement and Control 2017, Vol.50(9-10) 186-198.

25. Филатов Д.А. Исследование эксплуатационно-технологических параметров энергоустановок на возобновляемых источниках энергии // Инженерный вестник Дона, 2015. №2 ч.2.

26. Тюхов И.И.. О ресурсных ограничениях фотоэлектрических технологий и перспективах их преодоления / И.И. Тюхов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 8-й международной научно-технической конференции. Часть 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология / ГНУ ВИЭСХ - Москва, 2012. - С. 47-54.

27. Амиров С.Ф., Хушбоков Б.Х., Балгаев Н.Е. Многодиапазонные трансформаторы тока // Электротехника. - М.: 2009. - №2. - С. 61-64.

28. Беляков П.Ю. Особенности преобразования энергии и задачи управления в электроэнергетических установках на базе возобновляемых источников энергии / Беляков П.Ю. //

Электротехнические комплексы и системы управления, 2007.  
- С. 24-29.

29. Ураксеев М.А., Марченко Д.А., Марченко Р.А. Магнитооптические эффекты и датчики на их основе // Датчики и системы. – №1. –М.: 2001.- С. 60-63.

30. Зарипов М.Ф., Петрова И.Ю. Предметно-ориентированная среда для поиска новых технических решений «Интеллект» // IV Санкт Петербургская международная конф. «РИ-95»:Тез. докл. - Спб., 1995.- С. 60-61.

31. Азимов Р.К. Сиддиков И.Х. Шипулин Ю.Г. Анализ основных характеристик электромагнитных преобразователей с плоскими обмотками на основе графовых моделей // Известия ВУЗов «Электромеханика». - Москва, 1991. - №.5 - С. 58-60.

32. Сиддиков И.Х. Энергия тежамкорлиги – давр талаби. Uy joy kommunal xizmatlari”, 1 (1) Январь, 2019. б.54-56. IImiy – amaliy, ijtimoiy nashr. ÓzR Matbuot va axborot agentligi Róuxat N0973.

33. Аллаев К.Р., Сиддиков И.Х., Холиддинов И.Х., Абдуманнонов А.А., Хасанов М.Ю. Алгоритм расчета сверхнормативного технологического расхода электроэнергии // Государственнoле патентное ведомство

РУз. Решение о выдаче свидетельства № 20140089, 17.12.2014 г.

34. Патент РУз. UZ IAP 04907, Преобразователь тока в напряжение, Официальный бюллетень №6, 2014 г.

35. Решение о выдаче Патента РУз. № IAP 2013 0164. Преобразователь несимметричности трехфазного тока в напряжение / Сиддигов И.Х., Азимов А.Р., Хужамов Э.Н., Бекназаров К.Б., Анарбаев М.А., Сиддигов О.И., Маматкулов А.Н.// - 29.04.2013.

36. Сиддигов И.Х., Абубакиров А.Б., Хужаматов Х.Э., Хасанов Д.Т. “Программное обеспечение срока окупаемости внедрения источников реактивной мощности в системах электроснабжения”. //Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. № DGU №06465 20190478. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 18.04.2019 г.

37. Сиддигов И.Х., Абубакиров А.Б., Утемисов А.Д., Абдумаликов А.А. “Қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминоти тизимларида реактив қуввати манбаларининг кўп фазали тоқларини қучланишга ўзгартириш датчикларини моделлаштириш” / Современные тенденции совершенствования систем контроля и управления технологическими процессами и производствами. Республиканская научно-техническая конференция 11-12 Октябрь, 2019, г. Ташкент, Узбекистан. -С.192-194.

38. Абубакиров А.Б., Уснатдинов А.Б., Ережепов Қ.Д. Сайфудинов А.А. Электр таъминоти тизимини реактив қуввати манбаларининг кўп фазали тоқларини кучланишга ўзгартириш датчикларни хатоликларининг тадқиқи / Физика фанининг техника соҳасидаги тутган ўрни Республикаси илмий-амалий конференция– Нукус 2021 йил 28-май –С.272-276.

39. Ережепов Қ.Д, Куатова Ш.Б. Реактив қувват манбаларини кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишларга ўзгартириш жараёнининг модели / Физика фанининг техника соҳасидаги тутган ўрни Республикаси илмий-амалий конференция– Нукус 2021 йил 28-май –С.295-298.

40. Уснатдинов А.Б., Куатова Ш.Б. Қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминоти тизимларида кўп фазали тоқларни кучланишга ўзгартириш, назорат ва бошқариш датчиклари / Физика фанининг техника соҳасидаги тутган ўрни Республикаси илмий-амалий конференция– Нукус 2021 йил 28-май –С.298-300.

41. Абубакиров А.Б. Применение устройств компенсации реактивной мощности на подстанциях промышленных предприятий. / Республиканской научно-технической конференции «Актуальные проблемы энергосбережение при использования альтернативных источников энергии». Қарши 2017.- С. 216-217.

42. Abubakirov A.B., Sarsenbaev D.B. Muqobil energiyadan foydalanib energiya resurs manbalarini tejash. / «Муқобил энергия манбасидан фойдаланиб энергия тежамкорликка эришишнинг долзарб муаммолари» Республика илмий-техник анжуман материаллари. Қарши 2017.- С. 214-216.

43. Ережепов К.Д, Куатова Ш.Б. Реактив қувват манбаларини кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишларга ўзгартириш жараёнининг модели / Бердақ номидаги Қорақалпоқ давлат университет магистрантларининг илмий меҳнатлар туплами – Нукус 2021 II бөлим. С. 116-118.

## MAZMUNÍ

<b>KIRISIW .....</b>	<b>3</b>
<b>I BAP. QAYTA TIKLENIWSHEŇ ENERGIYA DEREKLI ELEKTR TÁMIYNATÍ SISTEMALARÍNDÁ REAKTIV QUWAT KOMPENSATSIYASI HÁM ONI ISLEP SHÍGARIWDIŇ ANALÍZLERÍ.....</b>	<b>5</b>
1.1. Qayta tikleniwsheń energiya derekli elektr támiynat sistemalarında reaktiv quwat kompensatsiyası analizi.....	5
1.2. Qayta tikleniwshen energiya derekli elektr támiynatı sistemalarında reaktiv quwattı islep shıǵarıw hám basqarıw .....	9
1.3. Elektr tamiynati sistemalari reaktiv quwattı kompensatciyalawshı usılları hám qurilmalardi izertlew .....	18
1.3.1. Elektr energiyanıń reaktiv qurawshısı.....	20
1.3.2. Reaktiv quwattı kompensatciyalaw usılları.....	24
1.3.3. Ózgartkish apparatlı elektr támiynat sistemalarında reaktiv quwattı kompensatciyalaw.....	28
1.4. - Elektr támiynatı sistemalarında kóp fazalı toklardı kernewge ózgartiw, qadaǵalaw hám basqarıw sistemalarında qollanılatuǵın tok ózgartkishleriniń túrleri hám olardıń ózgartiw principiari .....	30
1.5. Kóp fazalı toklar datchikleriniń dúzilıw principiari.....	42
<b>II BAP. ELEKTR ENERGIYA TÁMINATÍ REAKTIV QUWATÍNÍN KÓP FAZALÍ BIRLEMSHI TOKLARÍN EKILEMSHI KERNEWGE ÓZGERTIRIW PROCESSIN HÁM DATCHIGIN MODELLESTIRIW.....</b>	<b>50</b>
2.1. Qadaǵalaw hám basqarıw signalların ózgartiw processi hám datchiginiń jıynalǵan parametrli modeli hám izertlew algoritmi .....	50
2.2. Reaktiv quwat derekleriniń kóp fazalı birlemshi tokların ekilemshi kernewlerge ózgartiw processi modeli.....	57
2.3. Tokti kernewge ózgartiw datchiginiń dúzilıw principiarińin fizikalıq-texnikalıq effektleri modeli.....	62
<b>III BAP. KÓP FAZALI TOKLARDI KERNEWGE ÓZGERTIRIW DATSHIKLARINIŇ TIKARǴI XARAKTERISTIKALARI.....</b>	<b>67</b>
3.1. Kóp fazalı birlemshi toklar datchiklerdiń statikalıq xarakteristikaları .....	67

3.2 Kóp fazalı birlemshi toklar datchikleriniń dinamikalıq xarakteristikaları.....	74
3.3. Kóp fazalı birlemshi toklar datchikleriniń metrologik xarakteristikaları, qátelikleri hám isenimliliǵı.....	80
3.3.1. Kóp fazalı birlemshi toklar datchikleriniń qátelikleri.....	80
3.3.2. Kóp fazalı birlemshi toklar datchikleri isenimli islewin izertlewi.....	91
<b>IV BAP. KÓP FAZALI BIRLEMSHI TOKLARDI EKILEMSHI KERNEWGE ÓZGERTIW DATCHIGINIŃ AMELIY JUMISLARI</b>	<b>96</b>
4.1. Reaktiv quwat derekleri kóp fazalı birlemshi tokları datchiginiń dúzilıw principin qurıw hám izertlew.....	96
4.2. Datchiktenń tiykarǵı ózgertiw bóleklerin tańlaw .....	100
4.2.1. Kernew kórinisindegi signal elementlerin tańlaw.....	100
4.2.2. Magnit ózgertiw bólegi úlkenligi hám parametrlerin tańlaw ...	102
4.2.3. Seziw elementi bólegin tańlaw .....	102
4.3. Datchikti parametrik izertlew .....	103
4.3.1. Parametrik izertlew tiykarları .....	103
<b>4.3.2. Datchikti statikalıq xarakteristikasınıń sızıqlılıǵı kriteriyası boyınsha izertlew</b> .....	<b>105</b>
4.3.3. Anıqlıq hám operativlik kriteriyaları boyınsha proektlestiriw ..	107
4.4. Reaktiv quwattıń kóp fazalı birlemshi tokların qadaǵalawı boyınsha basqarıw qásiyetleri hám quralları .....	111
4.5. Datchiktiń ámeliy izertlew nátiyjeleri .....	117
<b>JUWMAQ</b> .....	<b>123</b>
<b>SHÁRTLİ QISQARTPALAR</b> .....	<b>125</b>
<b>QOSÍMSHALAR</b> .....	<b>129</b>
<b>PAYDALANILǴAN ÁDEBIYATLAR DIZIMI</b> .....	<b>133</b>



I.X.SIDDIKOV, A.B.ABUBAKIROV, A.D.PAXRATDINOV

**QAYTA TIKLENIWSHI ENERGIYA DEREKLI ELEKTR TÁMINAT  
SISTEMALARÍ REAKTIV QUWATTÍ BASQARÍWDÍŃ KÓP FAZALÍ  
BIRLEMSHI TOKLARÍN EKILEMSHI KERNEWGE ÓZGERTIW  
DATSHIGINIŃ MODELLERI HÁM DÚZILIS PRINCIPLERI**

*(Monografiya)*

*“ILIMPAZ” baspası  
Nókis - 2023*

**Redaktor:** K.M.Reymov  
**Korrektor:** Allaniyazova Z.  
**Kompyuterlik dizayn:** Nurseytov R.

**Basıwǵa ruqsat berilgen waqtı 29.11.2023 j. Format – 60/84<sup>1/16</sup>.  
“Times” garniturası. Ofset usılında basıldı. Kólemi 9 b.t.  
Nusqası 100 dana. Buyırtpa №128-23/K**

**«Miraziz Nukus» JShJ baspaxanasında basıldı**  
Ózbekstan Respublikası baspa sóz hám xabar agentliginiŃ  
2018-jıl 16-maydaǵı № 11–3059 licenziyası.



Pin kod: 9892