

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazma hüququnda*

**ENERJİ SİSTEMLƏRİNİN QƏRARLAŞMIŞ  
REJİMLƏRİNİN MODELLEŞDİRİLMƏSİ VƏ İDARƏ  
EDİLMƏSİ METODLARININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ**

İxtisas: 3341.01 – Elektrik stansiyaları (elektrik hissəsi) və  
elektroenergetik sistemlər

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Elman Dəmir oğlu Xəlilov**

Texnika üzrə elmlər doktoru  
alimlik dərəcəsini almaq üçün  
təqdim olunmuş dissertasiya işinin

**AVTOREFERATI**

**Bakı – 2023**

İş Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: texnika elmləri doktoru, professor

**Balametov Əsrəf Balamet oğlu**

Rəsmi opponətlər:

-texnika elmləri doktoru, prof.

**Kuliyev Əsgər Məmməqulu oğlu**

-texnika elmləri doktoru, prof.

**Hüseynov Aqil Həmid oğlu**

-texnika elmləri doktoru, prof.

**Lachugin Vladimir Fyodoroviç**

-texnika elmləri doktoru, prof.

**Qurbanov Elçin Cəlal oğlu**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəalliyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

Texnika elmləri doktoru, professor

**Yusifbəyli Nurəli Adil oğlu**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Texnika elmləri namizədi, dosent

**Fərhadov Vahid Qara oğlu**

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru, dosent

**Quliyev Hüseynqulu Bayram oğlu**

# **İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

## **İşin aktuallığı və işlənmə dərəcəsi**

Elektrik enerjisi sistemlərinin idarə edilməsinin inkişafının hazırkı mərhələsində çevik AC ötürücü xətlərin geniş tətbiqi ilə əlaqədar olaraq, bu avadanlığın istismarı, sistemin rejimlərinə təsirinin təhlili, planlaşdırılması üçün qərarlaşmış rejimlərin modelləşdirilməsi üzrə yeni proqramların hazırlanması və ya mövcud proqram təminatının təkmilləşdirilməsi tələb olunur.

Elektrik şəbəkələrinin qərarlaşmış rejimlərinin hesablanması (EŞQRH) idarəetmə və planlaşdırma rejimlərinin bütün ərazi və zaman səviyyələrində ən çox yerinə yetirilir. EŞQRH həm müstəqil əhəmiyyətə malikdir, həm də digər komplekslərin tərkib hissəsidir: əməliyyat rejiminin saxlanması, şəbəkələrin inkişaf perspektivlərinin təhlili, avadanlığın seçilməsi, elektrik şəbəkələrində güc və enerji itkilərinin hesablanması, optimal rejimlərin hesablanması, o cümlədən enerji itkilərinin nəzərə alınması, elektrik şəbəkələrində qəza hallarından əvvəl və qəza hallarından sonrakı rejimlərin hesablanması, həmçinin sistemin generator və yük aqreqatlarının rejimlərinin dayanıqlığı, o cümlədən sistemlərarası, uzun məsafəli ötürmələr, elektromaqnit və elektromexaniki keçid proseslərinin hesablanması. EES rejimlərinin operativ idarə olunması ilə əlaqədar EŞQRH ilə bağlı çoxlu hesablamalar aparmaq lazım gəlir. Bu problemlərin həlli rejimin çoxsaylı hesablamalarını tələb edir ki, bu da istənilən iş şəraitində nəticələrin əldə edilməsinin sürəti və etibarlılığı baxımından real vaxt rejimində qərarlaşmış vəziyyətin hesablanması üsullarına artan tələblər qoyur. Qeyd etmək lazımdır ki, elektrik sistemlərinin qərarlaşmış vəziyyət rejimlərini hesablamaq üçün cəbri tənliklərin qeyri-xətti sistemini (QXTS) ədədi üsullarla həll etmək

lazımdır. Qərarlaşmış halın yüksək tərtibli tənliklərini həll etmək üçün müxtəlif ədədi üsullardan istifadə olunur.

Bir çox məşhur alimlər məsələn: Venikov V.A., Jukov L.A., Bartolomey P.I., Voitov O.N., Gamm A.Z., Davydov V.V, Eroxin P.M., Zhelezko Y..S., İdelchik V.I., Sovalov S.A., Fazylov V.A., Krumm L.A., Melnikov N.A., Murashko N.A., Okhorzin Y.A., Tarasov V.I., Ayuev B.I., Pazderin A.V., Exposito A.G., Monticelli A., B.F. Wollenberg, A.J. Wood. elektrik enerjisi sistemlərinin stasionar rejimlərinin hesablanması üsullarının və alqoritmlərinin işlənilib hazırlanmasına mühüm töhfə vermişlər,

AzET Eİ-da professorlar O.S. Məmmədیارov və Ə.B. Balametovun rəhbərliyi altında, ikinci dərəcəli korreksiya ilə Zeidel metodu; yüksək sürətli ayırma üsulu; ikinci dərəcəli metodlar, həmçinin ilkin məlumatların ehtimalla verildiyi halda stoxastik yaxınlaşma üsullarının tətbiqi ilə elektrik şəbəkələrinin qərarlaşmış rejimlərinin hesablanması üçün effektiv alqoritmlər və proqramlar işlənilib hazırlamışdır ki, onlar yığılmanın yüksək etibarlılığını, kompüterin operativ yaddaşından qənaətlə istifadəni təmin edir.

FACTS qurğularını nəzərə almaqla süni intellekt metodlarının istifadəsi enerji sistemlərinin idarə olunmasında fərdi kompüterlərin istifadəsi üçün yeni imkanlar açır. Süni intellekt üsullarından, məsələn süni neyron şəbəkələrindən istifadə etməklə qərarlaşmış rejimlərin həllini onun approssimasiyası ilə əvəz etmək mümkündür ki, nəticədə tədqiqatçı iterasiyalarla əlaqədar hesablama sxemlərindən imtina edə bilər.

Elektroenergetika sektorunda struktur islahatları ilə əlaqədar elektrik enerjisi bazarının iştirakçıları arasında güc axınlarının və itkilərinin ünvanlı paylanması məsələsinin həlli üçün müvafiq metod, alqoritmlərin və program vasitələrinin işlənməsi aktuallaşır.

Elektrik enerjisinin topdansatış bazarı üçün optimallaşdırma kriteriyalarının dəyişməsi ona gətirdi ki, təyinedici kriteriyalar enerjinin satışından maksimal gəlirin əldə edilməsi və ya elektrik enerjisinin istehsalı, çevrilməsi, ötürülməsi və paylanması üçün enerji resurslarına sərf olunan minimum məsrəflərdən ibarətdir. Bu isə optimallaşdırmanın ənənəvi metod, alqoritm və üsullarının inkişafını tələb edir.

Elektrik enerjisinin ötürülməsi zamanı texniki itkilərin faktiki itkilərdən əhəmiyyətli dərəcədə az olması qeydiyyat və monitoring sisteminin və EE sıviyyəsinə nəzarətin təkmilləşdirilməsini, texniki itkilərin modelləşdirilməsinin və normativlərinin dəqiqliyinin artırılmasını, əlverişli proqnozlaşdırma modellərinin işlənməsini tələb edir.

İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının inkişafı yüksək gərginlikli elektrik veriliş xətlərinin (EVX) sonlarında ölçülər əsasında ümumi itkiləri təyin etməyə və həmin itkilərdən məftillərin qızmasına sərf olunan və tac hadisəsindən yaranan itkiləri ayırmağa imkan verir.

İ.V. Jejenko, Y.S. Jelezko, İ.İ.Kartaşev, B.İ.Kudrin, A.K.Şidlovskinin, O.S. Məmmədyarovun tədqiqatları EE keyfiyyət probleminin tam həllinə həsr edilmişdir. İstehlakçıların elektrik enerjisinin keyfiyyətinə təsiri səbəbindən enerji səmərəliliyi sahəsində bəzi problemlər hazırda öz son həllini gözləyir.

Yeni intellektual texnologiyalar sinxron vektor ölçmələrinə (SVÖ) və onların dəqiqliyinə əsaslanan hava xətti rejiminin modelləşdirilməsi üsullarının işlənilməsinə tələb edir.

## **Tədqiqatın obyektı və predmeti**

Tədqiqatın obyektı elektroenergetika sistemidir.

Tədqiqatın predmeti elektroenergetika sisteminin qərarlaşmış halının rejimləridir.

## **İşin məqsədi və tədqiqatın məsələləri**

Dissertasiya işinin məqsədi yeni intellektual texnologiyalar (FACTS qurğuları və sinxronlaşdırılmış vektor ölçmələri) və elektrik enerjisi bazarının tələblərini nəzərə almaqla enerji sistemlərin işinin effektivliyini və qənaətcilliyini artırmaq üçün qərarlaşmış rejimlərin modelləşdirilməsi və idarə edilməsi metodlarının təkmilləşdirilməsidir.

Qoyulmuş məqsədə müvafiq olaraq dissertasiya işində aşağıdakı əsas məsələlər həll olunur:

1. FACTS qurğularını nəzərə almaqla elektroenergetika sistemlərinin qərarlaşmış rejimlərinin modelləşdirilməsi
2. Süni neyron şəbəkələrindən istifadə etməklə elektrik şəbəkələrinin qərarlaşmış rejimlərinin modelləşdirilməsi
3. Qərarlaşmış rejimlərin hesabında sxem və rejim verilənlərinin təhlili əsasında həllin alınmamasının və ya olmamasının diaqnostikası üçün tövsiyələrin işlənməsi
4. Elektrik enerjisi bazarının iştirakçıları arasında güc axınları və itkilərinin ünvanlı paylanması alqoritmlərinin işlənməsi
5. FACTS qurğularını nəzərə almaqla elektroenergetika sistemlərinin rejimlərinin optimallaşdırılması alqoritmlərinin işlənməsi
6. Elektrik şəbəkələrində güc itkilərinin proqnozlaşdırılması alqoritmlərinin işlənməsi
7. Dəyişən itkilərin davamiyyətə görə yük qrafiklərinin imitasiya modelləşdirilməsi əsasında təyin edilməsi metodikasının işlənməsi
8. Yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin uçlarında rejim parametrlərinin operativ ölçüləri əsasında aktiv güc itkilərinin təşkilədicilərinin təyini alqoritmlərinin işlənməsi
9. Elektrik veriliş xəttinin rejimini sinxronlaşdırılmış vektor ölçmələrinə və bu ölçmələrin dəqiqliyinə əsaslanaraq modelləşdirən metodun və alqoritmin işlənilib hazırlanması
10. Yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin rejim vəziyyətini qeyri-iterativ yolla qiymətləndirməyə imkan verən üsulun işlənilib hazırlanması

## **Tədqiqat üsulları**

Dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş vəzifələri həll edərkən aşağıdakılardan istifadə edilmişdir: elektrik sistemlərinin ümumi nəzəriyyəsi metodları, optimallaşdırma üsulları, ehtimal nəzəriyyəsi və statistik üsullar.

## Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar

1. FACTS qurğularının EES rejimlərinə təsirinin qiymətləndirilməsinin kompüter modelləşdirilməsinin nəticələri.

2. “Azərenerji” ASC-nin ekvivalent sxemi və IEEE-nin test sxeminin dəyişdirilmiş versiyası üçün hava xətti naqilinin aktiv müqavimətlərinin ətraf mühitin temperaturundan və xətlərdə cərəyanlardan asılılığını nəzərə alan EŞQRH -in nəticələri.

3. Mürəkkəb elektrik şəbəkələri nümunələrində FACTS qurğularının tam və sadələşdirilmiş modellərinin tədqiqinin nəticələri

4. Qərarlaşmış rejim tənliklərinin həllinə qədər və həll prosesində ilkin verilənlərin, sxem və rejimin təhlili əsasında həll prosesin dağılmasının və həlin olmamasının diaqnostikası metodikası.

5. Süni neyron şəbəkələrinin tətbiqi ilə elektrik şəbəkələrinin qərarlaşmış rejimlərin həllinin metodikası, alqoritmi və nəticələri.

6. Aktiv və reaktiv güclərin və güc itkilərinin ünvanlı paylanması alqoritmləri və proqramları.

7. FACTS qurğularını nəzərə almaqla xətti proqramlaşdırma metodununun tətbiqi ilə məqsəd funksiyasının və məhdudiyətlərin ardıcıl xəttilləşdirilməsi əsasında EES rejiminin optimallaşdırılması üçün metodika, alqoritm və proqram təminatı.

8. Hopfield süni neyron şəbəkəsinin tətbiqi ilə yükün elektrik stansiyaları arasında qənaətcil paylanması alqoritmi və proqram təminatı.

9. Dəyişən itkilərin davamiyyətə görə yük qrafiklərinin imitasiya modelləşdirilməsi əsasında təyin edilməsi metodikası.

10. Elektrik şəbəkələrində güc itkilərinin proqnozlaşdırılmasının regressiya asılılıqlarına əsaslanan metodika, alqoritmləri və proqramları.

11. Yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin uclarında rejim parametrlərinin ölçüləri əsasında aktiv güc itkilərinin operativ qiymətləndirilməsi sistemi.

12. Elektrik veriliş xəttinin rejimini sinxronlaşdırılmış vektor ölçmələrinə və bu ölçmələrin dəqiqliyinə əsaslanaraq modelləşdirən metod və alqoritm.

13. Yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin rejim vəziyyətini qeyri-iterativ yolla qiymətləndirməyə imkan verən üsul.

### **Tədqiqatın elmi yeniliyi**

1. İlk dəfə olaraq Delphi kompüter proqramlaşdırma sistemindən istifadə etməklə FACTS qurğularını nəzərə alaraq elektroenergetika sisteminin qərarlaşmış rejimlərinin təhlili, planlaşdırılması və idarə edilməsi üçün metodika, alqoritm və proqram təminatı işlənmişdir.

2. Elektrik şəbəkələrində qərarlaşmış rejimləri hesablayanda hava xətlərinin temperaturunu təyin etmək və nəzərə almaq üçün alqoritm işlənilib hazırlanmış və realizə olunmuşdur.

3. İlk dəfə olaraq Delphi kompüter proqramlaşdırma sistemindən istifadə etməklə FACTS qurğularını nəzərə almaqla və neyron şəbəkəsindən istifadə etməklə qərarlaşmış rejimlərin hesablanması məsələsinin formalaşdırılması mərhələləri işlənmişdir.

4. İfrat yüksək gərginlikli elektrik veriliş xətti olan elektrik şəbəkəsinin qərarlaşmış rejimlərinin fiziki realizə oluna bilən həllinin alınması üçün hesabat PU düyünlərinin daxil edilməsinə və bu düyünlərin gərginliklərinin əks əlaqə prinsipi ilə təshihinə əsaslanan metodika işlənmişdir.

5. MATLAB mühitində proqram təminatı şəklində həyata keçirilən . Aktiv güc axınlarının və itkilərinin matris, dekompozisiya üsulları, həmçinin Z-matris metodu və marjinal metod əsasında itkilərin paylanması üsullarının təhlili aparılmışdır.

6. Məqsəd funksiyasının və məhdudiyyətlərin ardıcıl xəttilləşdirilməsinə əsaslanan iterativ proseduranın tətbiqi modeli FACTS qurğularını nəzərə almaqla optimallaşdırma məsələsinin həlli üçün təkmilləşdirilmişdir.

7. Topdansatış bazarında elektroenergetika sistemi rejiminin aktiv gücə görə optimallaşdırılması məsələsi tədqiq olunmuş, koordinat-eniş metodu əsasında müvafiq proqram təminatı işlənmişdir. Yükün



elektrik stansiyaları arasında optimal paylanması üçün süni Hopfield neyron şəbəkəsinin tətbiqi ilə alqoritm və proqram təminatı işlənmişdir

8. İlk dəfə olaraq güc axınlarının və güc itkilərinin FACTS qurğularının parametrlərindən regressiya asılılıqları əsasında elektrik şəbəkəsi rejiminin optimallaşdırılması üçün metodika və alqoritm işlənmişdir

9. Dəyişən itkilərin davamiyyətə görə yük qrafiklərinin eksponensial funksiya şəklində imitasiya modelləşdirilməsi əsasında təyin edilməsi metodikası işlənmişdir.

10. İlk dəfə olaraq statistik metodların tətbiqi ilə aktiv güc itkilərinin təsiredici faktorlardan asılı olaraq proqnozlaşdırılması üçün metodikalar, alqoritmlər işlənmişdir.

11. Yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin uclarında rejim parametrlərinin ölçüləri əsasında aktiv güc itkilərinin operativ qiymətləndirilməsi sisteminə olan tələblər müəyyən olunmuşdur.

İlk dəfə olaraq 500 Kv-luq hava xəttinin (HX) sonlarında rejim parametrlərini ölçməklə HX-də tac itkilərini ayırmaqdan ötrü eksperimental tədqiqatları yerinə yetirmək üçün xüsusiləşdirilmiş ölçmə sistemi istifadə olunmuşdur.

12. Elektrik veriliş xəttinin rejimini sinxronlaşdırılmış vektor ölçmələrinə və bu ölçmələrin dəqiqliyinə əsaslanaraq modelləşdirən metod və alqoritm təklif olunmuşdur.

13. Yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin rejim vəziyyətini qeyri-iterativ yolla qiymətləndirməyə imkan verən üsul işlənib hazırlanmışdır.

## **Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti**

Dissertasiya işinin nəzəri əhəmiyyəti FACTS qurğularını, məftilin temperaturunu nəzərə alaraq, süni neyron şəbəkələrinin istifadə olunması ilə elektrik şəbəkələrinin syasionar rejimlərinin modelləşdirilməsi, ifrat yüksək gərginlikli elektrik veriliş xətti olan elektrik şəbəkəsinin qərarlaşmış rejimlərinin fiziki realizə oluna bilən

həllinin alınması üçün hesabatda PU düyünlərinin daxil edilməsinə və bu düyünlərin gərginliklərinin əks əlaqə prinsipi ilə təshihinə əsaslanan metodikanın işlənməsindən, güc axınlarının və itkilərinin ünvanlı paylanması üçün metodikanın işlənilib hazırlanmasından, idarə olunan FACTS qurğuları nəzərə alınmaqla və güc axınları və itkilərini onların parametrlərindən asılı reqressiya tənliklərinin alınması əsasında ES rejiminin optimallaşdırılması metodunun və alqoritminin işlənilib hazırlanmasından, statistik metodlardan istifadə etməklə reqressiya asılılıqlarının alınması və SVÖ-nin dəqiqliyinə uyğun gələn hava xətlərinin vəziyyətini qiymətləndirmək üçün alqoritmın işlənilib hazırlanmasından ibarətdir.

Dissertasiya işində əldə edilmiş nəticələrin praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, qərarlaşmış rejimlərin hesabatı və optimallaşdırılması, elektrik şəbəkələrində aktiv güc itkilərinin proqnozlaşdırılması, yüksək ərginlikli elektrik veriliş hava xəttinin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi üçün metodikalar və alqoritmlər işlənilib hazırlanmış və program vasitəsi şəklində realizə olunmuşdur.

## **Dissertasiya işinin aprobasiyası**

Dissertasiya işinin əsas nəticələri məruzə və müzakirə edilmişdir:

- Yerinə yetirilmiş elmi-tədqiqat işləri çərçivəsində AzET və LA Eİ illik seminarlarında; və aşağıdakı elmi forumlarda müsbət qiymət almışdır :

Республиканской и международной научно-практической конференциях «Проблемы кибернетики и информатики» 2003, 2004, 2008 и 2010 гг. в г. Баку; Международной научно-технической конференций «Передача энергии переменным током на дальние и сверхдальние расстояния», 2003, Новосибирск, Россия; International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, проводимой в 2004-2021 гг. в Иране, Турции, Румынии, Азербайджане и т.д.; Десятой научно-технической конференции «Электромагнитная совместимость технических средств и электромагнитная

безопасность ЭМС-2008», Санкт-Петербург, 2008; III Международной научно-практической конференций «Роль научной инновации в развитии экономики страны», Баку, 2009; Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Москва, 2009; «Нефть и культура – как достояние народа». Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии. Баку, 2010. «Ölkə iqtisadiyyatının inkişafında elmi innovasiyanın rolu» Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfrans, 2010; Международной научно-практической конференции: Федоровские чтения. Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием) Москва, 2010 – 2019 гг.; International conference «Energy of Moldova» 2012 and 2016. in Republic of Moldova; Международный научный семинар им. Ю.Н.Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» г. Баку, Азербайджан 2012 г и г Казань, 2020 г.; 2nd World Conference on Soft Computing dedicated to the research heritage Lotfi A. Zadeh. Baku, Azerbaijan, 2012; «Современные научно-технические и прикладные проблемы энергетики», 2015, СГУ; 18<sup>th</sup> IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability TECIS 2018, Baku; Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы, Москва, 2019 г. The 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications Volume II, 2018 and 2020, Baku, Azerbaijan.

## **İşin nəticələrinin həyata keçirilməsi**

Təklif olunmuş formulalar, metodika və alqoritmlər qərarlaşmış rejimlərin hesabatı və optimallaşdırılması; 2000-2021-ci illərdə bəsləyici və paylayıcı şəbəkələrdə elektrik enerjisi itkilərinin hesablanması və itkilərin normativinin təyin edilməsi; enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması; “Azərenerji” ASC-nin paylayıcı elektrik şəbəkələrində texniki və kommersiya itkilərinin monitorinqi;

2004-cü ildə “Azərenerji” ASC-nin elektrik stansiyalarında elektrik enerjisinin qeyri-balansının təyin edilməsi; 2007, 2010, 2011-ci illərdə yüksək gərginlikli yarımstansiyada kəskin dəyişən qeyri-xətti yükün elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinə təsirinin təyin edilməsi; 2008-ci ildə 500 kV gərginlikli Abşeron-2 elektrik veriliş xəttinin rejim parametrlərinin eksperimental tədqiqində istifadə olunmuşdur. Dissertasiya işinin mövzusu üzrə yerinə yetirilmiş tədqiqatlar əsasında 3 patent və işlənmiş proqram təminatına 5 müəlliflik şəhadətnaməsi alınmışdır. İşlənib hazırlanmış və dissertasiyada alınmış həllər EES-nin istismarının effektivliyini artırır.

### **Nəşrlər**

Dissertasiya işinin mövzusu üzrə 140 elmi əsər, o cümlədən 3 monoqrafiya dərc olunmuş, 30 elmi-tədqiqat işi yerinə yetirilmiş, 5 məqalə Web of Science, 6 məqalə Scopus elmi sitatgətirmə bazasında indekslənen jurnallarda dərc edilmişdir.

### **İşin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı**

Tədqiqatlar və işləmələr 2000-2021-ci illərdə “Azərenerji” enerjisisteminin təsdiq etdiyi və Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutunun “Enerjisistemin qərarlaşmış rejimləri” şöbəsinin hesabatlarına daxil olunmuş planlar əsasında yerinə yetirilmişdir.

### **İşin strukturu və həcmi**

Dissertasiya işi giriş, altı fəsil, nəticə, istifadə olunmuş 265 adda ədəbiyyat siyahısı, əlavələrdən, 90 şəkildən, 68 cədvəldən ibarət olub 570000 simvoldan ibarətdir. Xüsusi halda I Fəsil 72000 simvoldan, II Fəsil 84000 simvoldan, III Fəsil 64000 simvoldan, IV

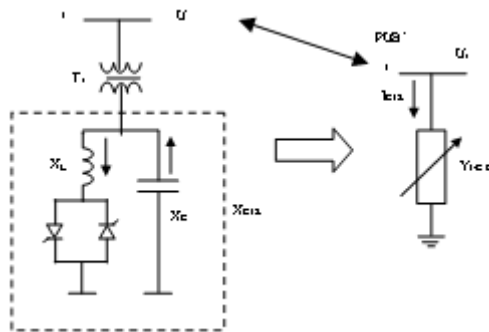
Fəsil 76000 simvoldan, V Fəsil 86000 simvoldan, VI Fəsil 56000 simvoldan ibarətdir.

## İŞİN MƏZMUNU

**Girişdə** dissertasiya işinin ümumi xarakteristikası verilmiş, aktualığı əsaslandırılmış, tədqiqatların məqsəd və məsələləri, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti, strukturu və həcmi əks olunmuşdur.

**Birinci fəsilə** EES qərarlaşmış rejimlərinin hesablarında FACTS qurğularının modelləşdirilməsi nəzərdən keçirilir (şək.1-3). İstifadə olunan modelləşdirmə metodları müvafiq qərarlaşmış rejim tənliklərinin birgə və ya ayrı-ayrılıqda həlli əsasında qurula bilər<sup>1</sup>.

Ardıcıl metodda düyün gərginlikləri və bucaqlar hal dəyişənləri qismində Nyuton metodu ilə hesablanır, daha sonra idarə olunan qurğuların hal dəyişənlərinin yenilənməsi üçün hər bir addımda alt məsələ həll olunur.



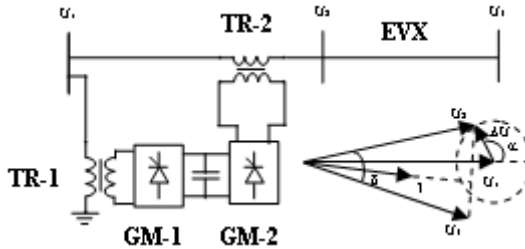
Şək. 1. Tiristorla idarə olunan statik kompensator

<sup>1</sup> Acha, E. FACTS. Modelling and Simulation in Power Networks / E. Acha, R. Claudio, H. Fuerte-Esquivel [and ets.] // - John Wiley & Sons, LTD, -2004. - 420 p.

İkinci yanaşma FACTS qurğularını və elektrik şəbəkəsini təsvir edən hal dəyişənlərinin vahid tənliklər sistemində birləşdirir:

$$f(U_i, \delta_i, X_{FACTS})=0$$

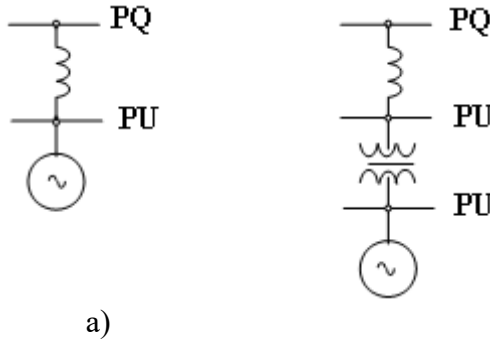
burada  $U_i, \delta_i$  – düyünlərdə gərginliklər və faza bucaqları,  $X_{FACTS}$  - FACTS qurğularının halını təsvir edən dəyişənlərdir.



Şək. 2. GAUT sxematik təsviri

**İnyeksiya** modelində FACTS qurğularına düyündə aktiv və reaktiv güclərin ekvivalent qiymətlərinin inyeksiyasına müvafiq qurğular kimi, yəni PQ elementləri kimi baxılır.

**Tam keçiricilik** modeli FACTS qurğularına şunt və ya ümumi keçiriciliyi B olan uzununa elementlər kimi baxır.



Şək. 3. STK –nın statik modelləri: a) 2 düyünlü; b) 3 düyünlü

**Yanma bucağı** modelində FACTS qurğusunun tam müqavimətinin və ya güclərin qiymətlərinin yarımkeçirici çevirgəçlərin dəyişən yanma bucağından asılılığından istifadə olunur. Bu modeldə yanma bucağına hal dəyişəni kimi baxılır:

$$B_{ij}^{-1} = X_{ij} = f(\alpha(X_L, X_C)) \text{ и } P_{ij}, Q_{ij} = f(\alpha, X_L, X_C).$$

$$B_{STK} = B_C - B_{TIR} = -\frac{1}{X_C \cdot X_L} \left\{ X_L - \frac{X_C}{\pi} [2(\pi - \alpha) + \sin(2\alpha)] \right\} \quad (1)$$

FACTS qurğularının nəzərə alınması QR adi alqoritmlərinə bəzi dəyişikliklərin edilməsini tələb edir. Məsələn, GAUT iki paralel və ardıcıl gərginlik mənbələrindən ibarətdir:

$$E_{\text{par}} = U_{\text{par}} (\cos \Delta \delta_{\text{par}} + j \sin \Delta \delta_{\text{par}}) \quad (2)$$

$$E_{\text{ard}} = U_{\text{ard}} (\cos \Delta \delta_{\text{ard}} + j \sin \Delta \delta_{\text{ard}}) \quad (3)$$

burada  $U_{\text{par}}$  və  $\delta_{\text{par}}$  tənzimlənmə diapazonları müvafiq olaraq  $U_{\text{par.min}} \leq U_{\text{par}} \leq U_{\text{par.max}}$  и  $0 \leq \delta_{\text{par}} \leq 2\pi$  olan paralel gərginlik mənbəyinin,  $U_{\text{ard}}$  və  $\delta_{\text{ard}}$  isə tənzimlənmə diapazonları müvafiq olaraq  $U_{\text{ard.min}} \leq U_{\text{ard}} \leq U_{\text{ard.max}}$  и  $0 \leq \delta_{\text{ard}} \leq 2\pi$  olan ardıcıl gərginlik mənbəyinin müvafiq olaraq gərginliyi və faza bucağıdır.

Qərarlaşmış rejimlərin hesabasında GAUT ardıcıl və paralel mənbələrin müqavimətləri; xəttə tənzimlənen aktiv və reaktiv güclərin qiymətləri; paralel mənbənin tənzimlədiyi gərginliyin qiyməti ilə təmsil olunur.

GAUT-un EŞQRH-də riyazi modeli aşağıdakı şəkildədir:

i-ci düyündə aktiv və reaktiv güc:

$$\begin{aligned} P_i &= U_i^2 g_{ii} + U_i U_j [g_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + b_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] + \\ &\quad + U_i U_{\text{in}} [g_{ij} \cos(\delta_i - \delta_{\text{in}}) + b_{ij} \sin(\delta_i - \delta_{\text{in}})]^2 + \\ &\quad + U_i U_{\text{ia}\delta} [g_{\text{vR}} \cos(\delta_i - \delta_{\text{ia}\delta}) + b_{ij} \sin(\delta_i - \delta_{\text{ia}\delta})] \\ Q_i &= -U_i^2 b_{ii} + U_i U_j [b_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - b_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] + \\ &\quad + U_i U_{\text{in}} [g_{ij} \sin(\delta_i - \delta_{\text{in}}) - b_{ij} \cos(\delta_i - \delta_{\text{in}})] + \\ &\quad + U_i U_{\text{ia}\delta} [g_{\text{ia}\delta} \sin(\delta_i - \delta_{\text{ia}\delta}) - b_{ij} \cos(\delta_i - \delta_{\text{ia}\delta})] \end{aligned} \quad (4)$$

j-cu düyündə:

<sup>2</sup> Acha, E. FACTS. Modelling and Simulation in Power Networks / E. Acha, R. Claudio, H. Fuerte-Esquivel [and ets.] // - John Wiley & Sons, LTD, -2004. - 420 p.

$$\begin{aligned}
P_j &= U_j^2 G_{jj} + U_j U_i \left[ G_{ji} \cos(\delta_j - \delta_i) + B_{ji} \sin(\delta_j - \delta_i) \right] + \\
&\quad + U_j U_{\bar{m}\bar{m}} \left[ G_{jj} \cos(\delta_j - \delta_{\bar{m}\bar{m}}) + B_{jj} \sin(\delta_j - \delta_{\bar{m}\bar{m}}) \right] \\
Q_j &= -U_j^2 B_{jj} + U_j U_i \left[ G_{ji} \sin(\delta_j - \delta_i) - B_{ji} \cos(\delta_j - \delta_i) \right] + \\
&\quad + U_j U_{\bar{m}\bar{m}} \left[ G_{jj} \sin(\delta_j - \delta_{\bar{m}\bar{m}}) - B_{jj} \cos(\delta_j - \delta_{\bar{m}\bar{m}}) \right]
\end{aligned} \tag{5}$$

Ardıcıl mənbənin yerləşdiyi budaq üçün:

$$\begin{aligned}
P_{\bar{m}\bar{m}} &= U_{\bar{m}\bar{m}}^2 g_{jj} + U_{\bar{m}\bar{m}} U_i \left[ g_{ji} \cos(\delta_{\bar{m}\bar{m}} - \delta_i) + b_{ji} \sin(\delta_{\bar{m}\bar{m}} - \delta_i) \right] + \\
&\quad + U_{\bar{m}\bar{m}} U_j \left[ g_{jj} \cos(\delta_{\bar{m}\bar{m}} - \delta_j) + b_{jj} \sin(\delta_{\bar{m}\bar{m}} - \delta_j) \right] \\
Q_{\bar{m}\bar{m}} &= -U_{\bar{m}\bar{m}}^2 b_{jj} + U_{\bar{m}\bar{m}} U_i \left[ g_{ji} \sin(\delta_{\bar{m}\bar{m}} - \delta_i) - b_{ji} \cos(\delta_{\bar{m}\bar{m}} - \delta_i) \right] + \\
&\quad + U_{\bar{m}\bar{m}} U_j \left[ g_{jj} \sin(\delta_{\bar{m}\bar{m}} - \delta_j) - b_{jj} \cos(\delta_{\bar{m}\bar{m}} - \delta_j) \right]
\end{aligned} \tag{6}$$

Düyündə paralel mənbə üçün:

$$\begin{aligned}
P_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} &= -U_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}}^2 G_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} + U_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} U_i \left[ G_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} \cos(\delta_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} - \delta_i) + B_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} \sin(\delta_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} - \delta_i) \right] \\
Q_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} &= U_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}}^2 B_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} + U_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} U_i \left[ G_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} \sin(\delta_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} - \delta_i) - B_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} \cos(\delta_{\bar{i}\bar{a}\bar{o}} - \delta_i) \right]
\end{aligned} \tag{7}$$

GAUT-də aktiv güc itkilərini nəzərə almasaq paralel mənbənin aldığı aktiv güc ardıcıl mənbənin istehlak etdiyi aktiv gücə bərabər olacaq  $P_{\text{par}} + P_{\text{ard}} = 0$ . Bundan əlavə əgər rabitə transformatorunun aktiv müqaviməti nəzərə alınmazsa onda  $P_i + P_j = 0$ .

$i$  və  $j$  düyünləri arasındakı xəttə aktiv və reaktiv güclərin verilən qiymətlərinin GAUT e.h.q. tənzimləməklə saxlanması üçün güc axınlarının xəttləşdirilmiş tənlikləri də əlavə olunur:

$$\begin{aligned}
\Delta P_{ij}^{E'' \text{GAUT}} &= P_{ij}^{\text{tenz,GAUT}} - P_{ij}^{E'' \text{GAUT,hes}} \\
\Delta Q_{ij}^{E' \text{GAUT}} &= Q_{ij}^{\text{tenz,GAUT}} - Q_{ij}^{E'' \text{GAUT,hes}}
\end{aligned} \tag{8}$$

burada  $P_{ij}^{\text{tenz,GAUT}}$  и  $Q_{ij}^{\text{tenz,GAUT}}$  budaqda aktiv və reaktiv güclərin tənzimlənən qiymətləri,  $P_{ij}^{X_{\text{GAUT,hes}}}$  и  $Q_{ij}^{E'' \text{GAUT,hes}}$  - aktiv və reaktiv güclərin hesabat qiymətləri,  $\Delta P_{ij}^{X_{\text{GAUT}}}$  и  $\Delta Q_{ij}^{E' \text{GAUT}}$  güclərin qeyri-balanslarıdır.



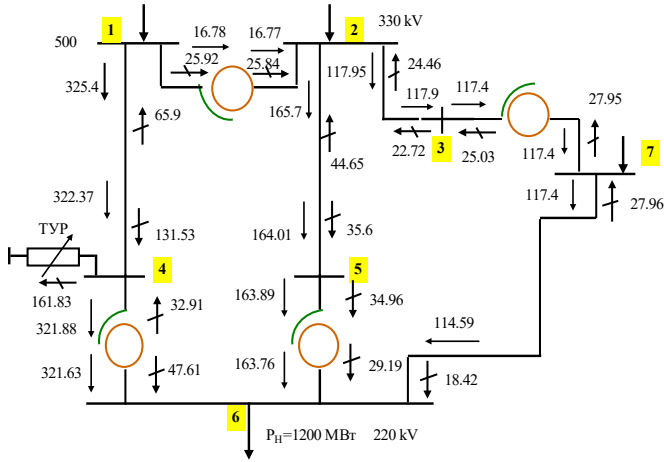
(2-8) tənlikəri qərarlaşmış rejimlərin hesabatında GAUT riyazi modelin təşkilidir. Qərarlaşmış rejimlərin hesabatında FACTS qurğularının modelləri tədqiq olunmuşdur. FACTS qurğularının nəzərə alınması ilə qərarlaşmış rejimlərin hesabatı üçün alqoritmlər və proqram təminatı işlənib hazırlanmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, FACTS qurğularının kompleks transformasiya əmsallı ekvivalent transformator və ya cərəyanların inyeksiyası şəklində nəzərə alınması mövcud proqram təminatından müəyyən dəyişikliklərlə istifadə edilməsinə imkan verir. EŞQRH proqramı modernləşdirilmiş, çoxvariantlı hesabatların avtomatik yerinə yetirilməsi modulları əlavə olunmuş, budaqdakı güc axınının approksimasiyası ilə həllin alınması yerinə yetirilmişdir. STK, TİR, TİUK, GAUT nəzərə almaqla elektrik şəbəkələrinin test və real sxemlərində qərarlaşmış rejimlərin kompüter modelləşdirilməsi ilə işlənmiş proqramların aprobeşiyası yerinə yetirilmişdir.

“Azərenerji” ASC-nin 220-330-500 kV gərginlikli qapalı qeyri-bircins ekvivalent şəbəkəsində tiristorla idarə edilən fazasürüşdürücü transformatorun tətbiqinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün hesabatlar aparılmışdır. Hesabatların nəticələrinə görə ümumi itkilərin azalması 3.14 MVt təşkil edir. Ekvivalent şəbəkədə STK və TİR nəzərə alınmaqla da hesabatlar yerinə yetirilmişdir. Aktiv və reaktiv güc axınları şəkl. 4-də, düyün gərginlikləri və bucaqlar cədvəl 1-də verilmişdir.

### Cədvəl 1

TİR 4-cü düyündə yerləşdirildikdə hesabatların nəticələri

Düyün gərginlikləri	Düyünlər						
	1	2	3	4	5	6	7
Modul, kV	510.00	337.00	337.06	500.00	334.46	221.34	225.79
Bucaq, dər.	0.00	0.09	-0.01	-5.56	-6.20	-8.14	-1.37



Şək. 4. TİR 4-cü düyündə yerləşdirildikdə aktiv və reaktiv güc axınları

4-cü düyündə gərginlik 500 kV və 6-cı düyündə yük 600 MVt olduqda TİR 161.83 MVar reaktiv güc istehlak edir. Bu halda tiristorun yanma bucağı  $\alpha=98.65^0$  olur.

6-cı düyündə reaktiv gücün  $+121 \div -242$  MVar tənzimlənmə diapazonu ilə STK yerləşən halı üçün yerinə yetirilmiş hesabatların nəticələrinə görə həmin düyündə 1200 MVt yük rejimində 220 kV gərginliyin təmin olunması üçün STK 92.86 MVar reaktiv güc generasiya etməlidir. Bu halda tiristorların yanma bucağı  $\alpha_{\text{STK}}=93.91^0$  olacaqdır.

TİUK 500 kV gərginlikli 1-4 xəttində yerləşdirilməsinin tədqiqatının nəticələrinə görə həmin elektrik veriliş xəttində 800 MVt güc axınının təmin olunması  $X_{\text{TİUK}}=44 \text{ OM}$  tələb olunur ki, bu halda tiristorların yanma bucağı  $\alpha=102.95^0$ . TİUK-un 1-4 xəttində yerləşdirilməsi 500 kV gərginlikli həmin xətdən ötürülən güc axınının 779.47 MVt-a qədər artırılmasına imkan verir. BU isə 2-5, 2-3, 7-6 xətlərinin yükünün azalmasına səbəb olur. Məsələn, iki dövrəli 220 kV-luq EVX-nin yükü 234 MVt-dan 178 MVt-a qədər azalır. Bu rejimdə ümumi aktiv güc itkilərinin azalması 2.07 MVt təşkil edir. “Azərenerji” ASC-nin 220-330-500 kV gərginlikli qapalı qeyri-bircins ekvivalent şəbəkəsində GAUT 7-6 budağında yerləşdirildikdə və 6-cı düyündə yük 1200 MVt olduqda yerinə yetirilmiş hesabatların nəticələri cədvəl 2-də verilmişdir.

## Cədvəl 2

### GAUT 220 kV gərginlikli xətdə işlədikdə alınan nəticələr

№	GAUT K <sub>T</sub> 7-8	Yanma bucağı, $\alpha$	P <sub>14</sub> , MVt	P <sub>25</sub> , MVt	P <sub>76</sub> , MVt	$\Delta P_{\text{har}}$ , MVt	$\Delta P_{\text{cym}}$ , MVt
1	1+j0	başlanğıc	687.74	339.58	204.07	31.39	32.73
2	1- j0.15	optimal	737.01	368.95	123.71	29.00	30.70
3	1- j0.35	Maksimal güc axını	801.43	405.44	25.21	31.54	33.24

GAUT-nin 7 və 6 düyünləri arasında yerləşdirilməsi ( $K_T=1-j0.35$ ) 500 kV gərginlikli xətdən axan aktiv gücün 800 MVt-a qədər artmasına səbəb olur ki, bu zaman fırlanma bucağı -19.5 dərəcə olar. Bu halda 220 kV EVX-nin yükü 204 MVt-dan 25 MVt-a qədər azalır. Optimal rejim fırlanma bucağının -10.2 dərəcə qiymətində təmin olunur.

“Azərenerji” ASC-nin 220-330-500 kV gərginlikli qapalı qeyri-bircins ekvivalent şəbəkəsinin rejimlərinin modelləşdirilməsinin nəticələri təhlil olunmuş və müəyyən edilmişdir ki, FACTS qurğularının tətbiqi nəticəsində ötürülən gücün əhəmiyyətli dərəcədə artırılmasını, gərginliyin səviyyələrinin yaxşılaşmasını və itkilərin  $4.37 \div 7.57$  MVt qədər azalmasını təmin etmək mümkündür. Müəyyən olunmuşdur ki, gərginliklərin saxlanması və itkilərin azaldılması nöqtəyi-nəzərindən ən effektiv və birinci dərəcəli tədbir Abşeron 220 kV yarımstansiyasında STK-nın və 220 kV gərginlikli Mingəçevir-Abşeron xəttində GAUT yerləşdirilməsidir.

I Fəslin nəticələri müəllif tərəfindən [21, 34, 26, 37, 38, 42, 45, 50, 52, 55 ] işlərində öz əksini tapmışdır.

**İkinci fəsildə** elektrik şəbəkələrinin ştasionar rejimlərinin modelləşdirilməsi üçün ənənəvi qərarlaşmış rejim tənliklərindən və istilik balans tənliklərindən istifadə edilmişdir.

Bu tədqiqat onunla bağlıdır ki, elektrik şəbəkələrində yükün fasiləsiz artması elektrik veriliş xəttinin vəziyyəti haqqında dürüst məlumatın, həmçinin hava xətlərinin yük ötürmə qabiliyyətinin maksimal istifadəsi üçün məftillərin temperaturu və axan cərəyanın sıxlığı haqqında faktiki məlumatların varlığını tələb edir.

HX-nin qərarlaşmış istilik rejiminin istilik balansı tənliyi aşağıdakı kimi yazılır:

$$I^2 \cdot R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t_{np} - 20)] + P_c = \pi d_{np} (k_k + k_{\pi}) (t_{np} - t_{\epsilon})$$

bu tənlikdə  $I$  – xəttin cərəyanı, A;  $R_{20}$  –  $20^\circ\text{S}$ , temperaturda məfillərin müqavəməti  $\text{Om/m}$ ;  $\alpha$  – məftilin müqavimətinin temperatur əmsalı,  $1/^\circ\text{S}$ ;  $t_{m\epsilon f}$  – məftilin temperaturu,  $^\circ\text{S}$ ;  $t_{hava}$  – havanın temperaturu,  $^\circ\text{S}$ ;  $k_k, k_{\pi}$  – konvektiv və şüalanma istilik mübadiləsində məftilin istilikvirmə əmsalı,  $\text{Vt}/(\text{m}^2\text{S})$ ;  $P_c$  –  $V$  vahid zamanda məftilin uzunluğunun  $1$  m tərəfindən udulan günəş şüalanması,  $\text{Vt}$ ;  $d_{m\epsilon f}$  – məftilin diametri, m.

Temperatur asılılığını nəzərə alan qərarlaşmış rejim tənlikləri ənənəvi Nyuton-Rafson metodundan onunla fərqlənir ki, keçiriciliklərdə temperatur asılılıqları nəzərə alınır:

$$\begin{aligned} P_i(\delta, U, t_{np}) &= V \sum_{j=1}^n V_j \left( G_{ij}(t_{np}) \cdot \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij}(t_{np}) \cdot \sin(\delta_i - \delta_j) \right) \\ &= P_{z,i} - P_{n,i} \\ Q_i(\delta, U, t_{np}) &= V \sum_{j=1}^n V_j \left( G_{ij}(t_{np}) \cdot \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij}(t_{np}) \cdot \cos(\delta_i - \delta_j) \right) = \\ &= P_{z,i} - P_{n,i} \\ H_{ij}(\delta, U, t_{np}) &= t_{ij} - \left( T_{\epsilon} + R_{\theta, ij} \cdot g_{ij}(t_{np}) \cdot (U_i^2 + U_j^2) \right) - 2g_{ij}(t_{np}) \cdot U_i \cdot U_j \cos(\delta_i - \delta_j) \end{aligned}$$

Aktiv müqavimətin temperatur asılılığını nəzərə almaqla EŞQRH iki test sistemi üçün tətbiq edilmişdir:

1. Azərbaycan enerjisi sisteminin 7 düyünlük 110 kV-luq hissəsinin ekvivalent sxemi (şək.5).

2. IEEE-nin 6 düyünlük test sxeminin dəyişdirilmiş versiyası.

Cədvəl 3-də 7 düyünlük ekvivalent sxemin üzərində yerinə yetirilmiş hesablamaların müqayisəli təhlilinin nəticələri verilmişdir.

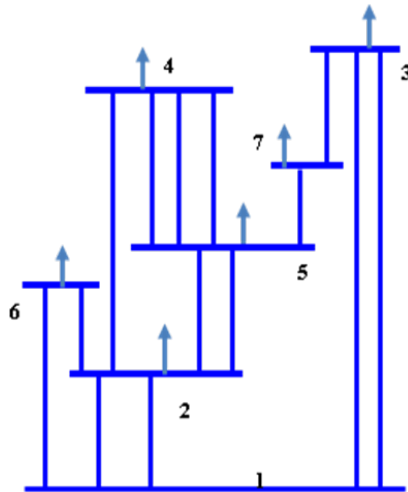
Qərarlaşmış rejim tənliklərində temperatur asılılığının nəzərə alınması yüklənmiş xətlərdə itkiləri artırır. Ənənəvi EŞQRH

da ümumi itkilər 4.4 MVt, temperatur asılılığını nəzərə alanda isə 4.55 MVt və 4.67 MVt təşkil etmişdir.

Elektrik şəbəkələrinin qərarlaşmış rejimlərinin hesabı məsələsi düyünlərdə güclərin qeyri-balanslarının kvadratları cəminin minimalaşdırılmasına gətirilir<sup>3</sup>:

$$\sum_i (S_i(U, \delta) - S_i)^2 \rightarrow \min$$

burada  $S_i = P_i + jQ_i$



Şəkl. 5. 110 kV-luq 7 düyünlük tkvivalent sxem

### Cədvəl 3

7 düyünlük ekvivalent sxem üçün qərarlaşmış rejimin hesablanması müqayisəli təhlilinin nəticələri

Budac lar	Güc, MVA	$T_{m\acute{a}f}$ $^{\circ}S$	Müqavi m\acute{a}tin nisbi	EŞQRH-da güc itkilərinin n\acute{a}tic\acute{e}ləri
--------------	-------------	----------------------------------	-------------------------------	--

<sup>3</sup> Хохлав, М. В. Расчеты установившихся режимов ЭЭС с использованием нейронных сетей // Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами. - Екатеринбург: УрО РАН, - 2002. - с. 102–126.

			artımı %	Ənənəvi, MVt	Tempera turu nəzərə almaqla, MVt	Nisbi artım, %
1-2	86.6	40.9	6.40	1.01	1.0703	5.97
1-2	86.6	40.9	6.40	1.01	1.0703	5.97
1-3	45.4	34.9	1.62	0.5537	0.5653	2.09
1-3	45.4	34.9	1.62	0.5537	0.5653	2.09
1-6	58.6	33.9	3.57	0.0701	0.073	4.14
2-4	57.7	34	0.77	0.1276	0.1318	3.29
2-5	68.1	29	4.00	0.4682	0.4843	3.44
2-5	68.1	29	4.00	0.4682	0.4843	3.44
2-6	33.1	27.9	3.63	0.0516	0.054	4.65
5-4	17.9	26.9	0.10	0.0113	0.0113	0
5-4	14.4	26	0.10	0.0113	0.0113	0
5-4	10.8	25.2	0.05	0.0011	0.0011	0
5-7	10.8	25.2	0.39	0.0471	0.0485	2.97
7-3	8	25.1	1.15	0.0119	0.0123	3.36
Ümumi itkilər				4.3959	4.5831	4.26

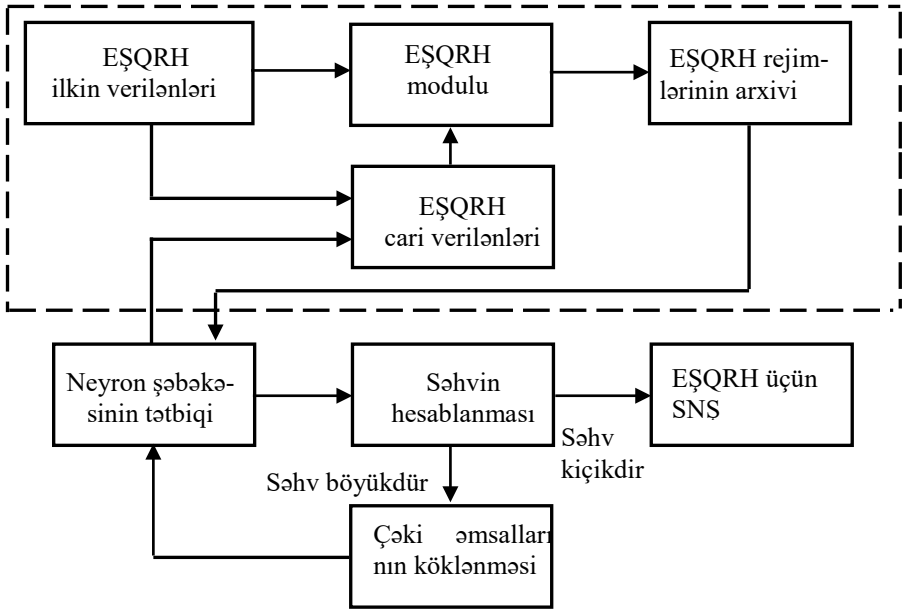
Относительное изменение потерь для нагруженных линий составили около 8.8%. Суммарные потери схемы изменились на 6.3%. Проводились расчеты также для случая  $T_{\text{воз}} = 40^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{превыш}} = 25$ . Для этого случая суммарные потери составили 4.721 МВт. Изменение потерь для нагруженных линий составили около 11.2%.

SNS-in tətbiqi ilə EŞQRH məsələsinin formallaşdırılmasının mərhələləri işlənilib hazırlanmışdır, həmin mərhələlərin realizasiyasının metodikası və alqoritmi müvafiq proqram təminatı şəklində realizə olunmuşdur. Seçimin ölçüsündən, aktivasiya funksiyasının dikliyində, neyron şəbəkəsinin arxitekturasından asılı olaraq süni neyron şəbəkəsinin tətbiqinin xətalrı təhlil olunmuşdur.

Süni neyron şəbəkələrinin EŞQRH məsələsinin həlli üçün imkanlarını təhlil etmək üçün Delphi proqramlaşdırma sistemində

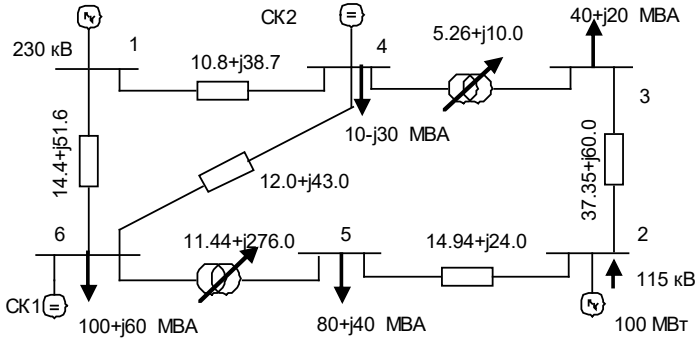
xüsusi proqram təminatı işlənmişdir. Süni neyron şəbəkəsinin EŞQRH məsələsinin həlli üçün işlənmiş proqram təminatının blok-sxemi şəkil 6-da verilmişdir. QRH üçün süni neyron şəbəkəsinin istifadə olunmasının aprobeasiyası 6 düyünlük test sxeminin üzərində yerinə yrtirilmişdir (şəkil 7).

Öyrətmə və test üçün yüklər 0%-100%, PU düyünlərdə gərginliklər 0.9-1.1, aktiv gücün istehsalı 50%-100% diapazonunda generasiya olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, seçimin ölçüsü 200-300 olduqda qərarlaşmış rejimin hesabatının qəbul oluna bilən dəqiqliyi təmin olunur.



**Şək. 6.** EŞQRH üçün süni neyron şəbəkəsinin tətbiqi

Müəyyən edilmişdir ki, statik dayanıqlıq həddinə yaxın rejimlərdə rejim parametrlərinin dəyişməsi ilkin rejimin 5-10% diapazonunda olmalıdır. SNŞ tətbiqi ilə test sxemlərində qərarlaşmış rejimlərin hesablanması nəticələrinin dürüstlüyü və dəqiqliyi EŞQRH məlum proqramlarında yerinə yetirilmiş hesabatların nəticələri ilə müqayisə edilmişdir.



**Şək. 7.** 6-düyünlük test sxemi

Dissertasiya işinin bu fəslində qərarlaşmış rejimlərin həlli üçün yüksək etibarlılığa malik adaptiv alqoritmlərin tədqiqatı yerinə yetirilmişdir. Planlaşdırma və operativ idarəetmə məsələlərində elə hallara təsadüf olunur ki, məlum metodlarla və proqramlarla və ya ənənəvi riyazi modellərlə qərarlaşmış rejim tənliklərinin həllini almaq olmur.

Qərarlaşmış rejim tənliklərinin məlum metodlarla və proqramlarla həllinin alınmamasının praktikada ən çox təsadüf edilən səbəbləri: ilkin məlumatların verilməsində səhvlər, pis şərtlənmiş tənliklər sistemi, pis ölçmələr, kiçik müqavimətlər, ifrat yüksək gərginlikli elektrik veriliş xətlərinin (İYGEX) mövcudluğu, rejimin statik dayanıqlıq həddinə yaxın olması, bir neçə, həmçinin texniki buraxıla bilməyən həllin olması, mənfi müqavimətlər, elektrik şəbəkəsinin qeyri-bircinsliyi, asılı dəyişənlərin ilkin yaxınlaşmasının uğursuz seçilməsidir

Həllin alınmasının adaptiv alqoritminin qurulması üçün ayrı-ayrı mərhələlərin formallaşdırılması zəruridir: ilkin verilənlərin, sxem və rejimin təhlili əsasında həllin alınmaması və mövcud olmamasının diaqnostikası, qərarlaşmış rejim tənliklərinin yazılış formasının və həlli metodunun seçilməsi ilə xüsusi alqoritmlərin tətbiqi şərtləri və s.

Qərarlaşmış rejim tənliklərinin həllinin olmamasının səbəblərindən biri sxem və ya rejim parametrlərinin verilməsindəki səhvlərdir. Şəbəkənin sxemi haqqında ilkin məlumatların



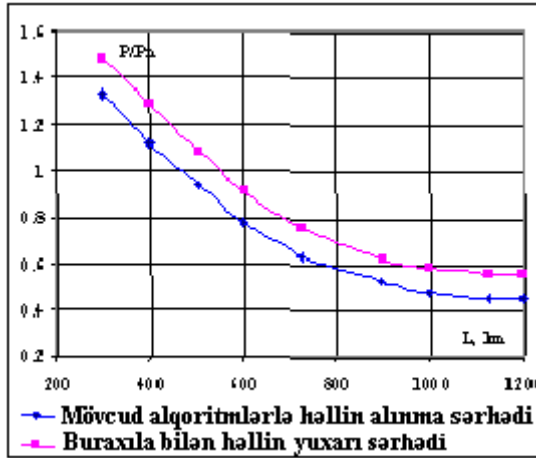
hazırlanmasında səhvləri aradan qaldırmaq üçün DELPHİ proqramlaşdırma sistemindən istifadə etməklə verilənlər bazası və proqram-hesabat kompleksi işlənilib hazırlanmışdır.

Məlum metodlarla və proqramlarla həllin alınmamasının praktikada tez-tez təsadüf edilən səbəblərindən biri elektrik şəbəkəsinin düyünlərində aktiv və reaktiv generasiyaların və yüklərin verilməsindəki səhvlər və qeyri-korrektlikdir. Bununla əlaqədar P, Q və U-nun verilməsindəki səhvlərlə əlaqədar diaqnostika mərhələlərinin formallaşdırılması böyük əhəmiyyətə malikdir. Müəyyən olunmuşdur ki, ifrat yüksək gərginlikli elektrik verilişi xətlərinin mövcud olduğu elektrik şəbəkəsinin düyünlərində PQ verildikdə buraxıla bilən həllə doğru yığılma təmin olunmur. İYGEVX mövcud olduğu elektrik şəbəkəsinin qərarlaşmış rejim tənzimləməsinin fiziki buraxıla bilən həllinin alınması üçün fiktiv PU düyünlərinin daxil edilməsinə əsaslanan və aşağıdakı mərhələlərdən ibarət metodika təklif olunmuşdur: EŞ rejiminin düyünlər üzrə həllinə əsaslanan metodlardan biri ilə həlli; sxemdə İYGEVX mövcud olması ilə əlaqədar texniki buraxıla bilən həllin mümkün ola bilməməsi faktının müəyyən olunması; bəzi PQ düyünlərinin fiktiv PU düyünlərinə çevrilməsi; bu düyünlərin gərginliyinin xarici iterasiya algoritmi ilə təshihə.

İfrat yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin mövcud olduğu elektrik şəbəkəsi üçün mövcud metodlarla fiziki buraxıla bilən həllin alınmamasının praktiki meyarları kimi təklif edilir ki:  $H_X$  uzunluğundan asılı olaraq İYGEVX aktiv gücünün maksimal  $P_{ijmax}$  qiymətinin təyin edilməsi və onun  $P_{ij} > P_{ijmax}$  şərtinə görə yoxlanması; gərginliyin modul və faza bucaqlarının  $U_i > U_{imax}$  və  $\delta_i > \delta_{ibur}$ , burada ki,  $\delta_{ibur} = 30^\circ - 40^\circ$ ,  $U_{imax} = 1.05 U_{inom}$  şərtlərinə görə texniki buraxıla bilən həllin alınma bilməməsinin səbəbinin müəyyən olunması. Elektrik şəbəkəsinin qərarlaşmış rejimlərinin hesabının texniki buraxıla bilən həllinin alınması üçün məlum metod və proqramların tətbiqi sahələrinin təyin edilməsi üçün  $P/P_{nat} = f(l)$  asılılığından istifadə etmək təklif olunur.

Məsələn, İYGEVX üçün  $300 \leq LEVX \leq 1200$  km uzunluqlu oblastlar üçün 500, 750 və 1150 kV gərginlikli test sxemləri üçün QRT modelləşdirilməsinin ikinci dərəcəli polinomlarla

aproksimasiya asılılıqlar; alınmışdır ki, bunlar üçün məlum metod və proqramlarla həllin alınması təmin edilir (şək.8).



**Şək. 8.** İYGEVX EŞQRH metodlarının tətbiqinin mümkünlüyü oblastları

Xarici iterasiya prosesində əks əlaqə düsturu ilə PU hesabat düyünlərinin gərginliklərinin korreksiyası alqoritm təkliif olunmuşdur. Bu məqsədlə PU hesabat düyünündə üç müxtəlif nöqtədə  $Q_i=AU^2+BU+C$  kvadratik aproksimasiyasından istifadə olunmuşdur.  $Q_i=0$  şərtinə müvafiq olaraq kvadrat tənliyin həlli axtarılır. Elektrik şəbəkəsinin rejimindən asılı olaraq həllərdən biri texniki buraxıla biləndir.

Hesabat PU düyününün gərginliyinin korreksiyası alqoritm  $U_i>U_{imax}$  və  $\delta_i>\delta_{ibur}$  şərtlərinə görə fiziki buraxıla bilən həllin alınmamasının səbəbkarı olan düyünün axtarılmasına və reaktiv gücün  $|Q_i|<\epsilon_q$  şərtinə görə bu düyünün hesabat PU düyününə keçirilməsinə gətirilir.

Çoxsaylı hesabatlar göstərmişdir ki, işlənmiş alqoritm QRT axtarılan həllinə etibarlı yığılmasını, EŞ rejiminin verilməsində səhvləri müəyyən etməyə imkan verir.

İkinci fəslin nəticələri müəllifin yerinə yetirdiyi [11, 15, 16, 17, 22, 30, 32, 54] sayılı işlərdə öz əksini tapmışdır.

**Üçüncü fəsildə** güc axınlarının ünvanlı paylanması məsələsi həll olunur. Bazar münasibətləri şəraitində elektrik stansiyalarında və digər təchizatçılarda elektrik enerjisinin qiyməti müxtəlif olduğundan bazar iştirakçıları arasında güc və enerji axınlarının paylanması aktual məsələdir. Tələbatçılara verilən EE qiyməti bir-birindən fərqlənən müxtəlif stansiyalarda istehsal oluna bilər. Güc axınlarının ünvanlı paylanması yüklərin generasiyada, generatorların yüklərdə payını müəyyən edir, itkiləri generatorlar və yüklər arasında bölür, xətlərdəki güc axınlarının generatorlar və yüklər arasında dekompozisiyasını yerinə yetirir.

QRH-dan, ölçmələrdən, sistemin halının qiymətləndirilməsindən alınan məlumatlar güc axınlarının izlənməsi üçün ilkin məlumatlardır. Güc axınlarının irəli və geri izlənməsi matrisaları aşağıdakı şəkildədir<sup>4</sup>:

$$A_{ir} = I + M_{ir}^T \cdot \text{diag}(P_B) \cdot M_{ger} \cdot \text{diag}(P_O)^{-1}$$

$$A_{ger} = I + M_{ger}^T \cdot \text{diag}(P_B) \cdot M_{ir} \cdot \text{diag}(P_O)^{-1}$$

burada I vahid matrisa,  $M_{ir}$  и  $M_{ger}$  budaqların düyünlərdə birləşməsi matrisası,  $P_y$  – düyünlərdə güc axınları vektoru,  $P_B$  – budaqlardan güc axınları vektorudur.

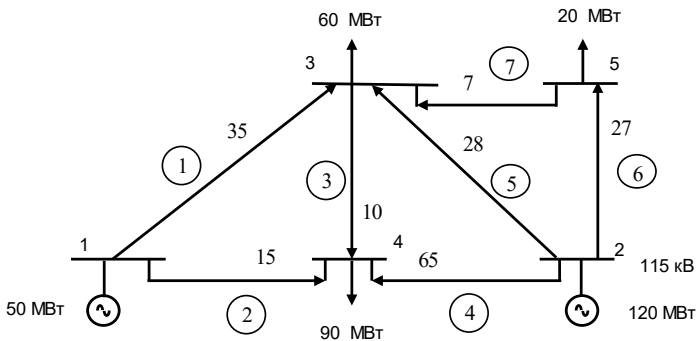
Güc axınlarının matrisa və qraf metodları ilə ünvanlı paylanmasının tədqiqatı yerinə yetirilmişdir. Aktiv güc axınlarının hər bir stansiyanın konkret yükü təchizatında, hər bir generatordan elektrik şəbəkəsinin əvəz sxeminin budaqları ilə axan güc axınlarının tapılmasına imkan verən alqoritmlər və proqram təminatı işlənmişdir. IEEE və Azərbaycan EES test sxemləri üzərində işlənmiş proqram təminatından istifadə etməklə aktiv güc axınlarının ünvanlı paylanması məsələsi həll olunmuşdur.

Şəkil 9-da ünvanlı paylanmanın yerinə yetirildiyi generator düyünləri 1 və 2, yük düyünləri 3, 4, 5 olan elektrik şəbəkəsinin sxemi göstərilmişdir.

---

<sup>4</sup> Achayuthakan, C. Electricity Tracing in Systems With and Without Circulating Flows: Physical Insights and Mathematical Proofs / C. Achayuthakan, C. J. Dent, J.W. Bialek [et al.] // IEEE transactions on power systems, -2010, vol. 25, N 2, - p. 1078-1087.

Aktiv güc axınlarının ayrılmasının test nümunəsi üzərində graf üsulu ilə qiymətləndirilməsi yerinə yetirilmişdir.



Şək. 9. Güclərin ünvanlı paylanması hesablaşmaq üçün test sxemi

Azərbaycan EES qeyri-bircins ekvivalent hissəsi nümunəsində FACTS qurğularının yaratdığı dairəvi güc axınlarının tədqiqatı yerinə yetirilmişdir. EES-də dairəvi güc axınlarının identifikasiyası üçün alqoritm və proqram təminatı işlənmişdir.

Bu fəsildə həmçinin güc itkilərinin ünvanlı paylanması məsələsinin tədqiqatı da yerinə yetirilmişdir. Aktiv güc itkilərinin paylanması üçün marginal metod əsasında alqoritm və proqram təminatı işlənmiş və məxtəlif test, həmçinin real EES nümunələrində aprobeasiya olunmuşdur. Marginal əmsallardan bazar iştirakçıları arasında güc və enerji itkilərini paylaşmaq üçün istifadə etmək olar.

Zy matrisasından həm QRH, həm də bazar iştirakçıları arasında güc və enerji itkilərini paylaşmaq üçün istifadə etməyə imkan verən alqoritm işlənmişdir. Ümumi aktiv güc itkilərinin düyün müqavimətləri matrisasından istifadə etməklə yazılmış ifadəsi aşağıdakı şəkildədir :

$$\Delta P = \text{Re}[\text{diag}(I^*) \cdot Z \cdot I]$$

burada  $I^*$ - düyün cərəyanının kompleks qoşmasıdır. Alqoritm proqram təminatı şəklində realizə edilmişdir.

Bu fəslin nəticələri [23, 27, 28, 29, 33, 34, 48, 49, 53, 63, 64, 68]. sayılı işlərdə öz əksini tapmışdır.

**Dördüncü fəsildə** EES rejimlərinin optimallaşdırılması məsələsi tədqiq olunmuşdur. Rejimlərin operativ idarə edilməsi məsələlərinin

idarə olunan proseslərin baş verməsi sürətinə müvafiq həll edilməsi tələb olunur.

Rejimlərin gərginliyə, reaktiv gücə və transformasiya əmsallarına görə idarə edilməsi elektroenergetika sistemlərində tez-tez həll olunan məsələlərdən biridir. Dissertasiya işində EES rejimlərinin gərginliyə, reaktiv gücə və transformasiya əmsallarına görə ardıcıl xəttilləşdirmə və xətti proqramlaşdırma metodu ilə optimallaşdırma məsələsinin modelinə FACTS qurğuları daxil edilmişdir

Elektrik şəbəkəsi rejiminin gərginliyə, reaktiv gücə və transformasiya əmsallarına görə optimallaşdırılması məsələsinin FACTS qurğularını nəzərə almaqla riyazi modeli aşağıdakı şəkildə yazıla bilər<sup>5</sup>:

$$\min \quad F(X,Y), \quad (1)$$

$$W(X,Y)=0 \quad (2)$$

$$X_{\min} < X < X_{\max} \quad U_{s\min} \leq U_s \leq U_{s\max} \quad , \quad (3)$$

$$Y_{\min} < Y < Y_{\max} \quad , \quad -\frac{\pi}{2} \leq \gamma_s \leq \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

burada  $F(X,Y)$  – elektrik şəbəkəsində ümumi aktiv güc itkiləri,  $X$  – tənzimlənməyən dəyişənlər vektoru (gərginliyin modulları və faza bucaqları, mənbələrin reaktiv gücləri, FACTS qurgusunun uzununa gərginlik mənbəyinin gərginliyinin modulu);  $Y$  – tənzimlənən dəyişənlər vektoru,  $U_s$  – FACTS qurgusunun uzununa gərginlik mənbəyinin gərginliyinin modulu;  $\gamma_s$  - FACTS qurgusunun uzununa gərginlik mənbəyinin gərginliyinin faza bucağıdır.

Elektrik şəbəkəsi rejiminin gərginliyə, reaktiv gücə və transformasiya əmsallarına görə optimallaşdırılması məsələsinin riyazi modeli qeyri-xətti proqramlaşdırma məsələləri sinfinə aiddir və böyük ölçüsü, məqsəd funksiyası və asılı dəyişənlərin daxil olduğu məhdudiyət tənliklərinin qeyri-xəttiliyi, tənliklərin əmsallarının əmələ gətirdiyi matrisanın zəif dolması və həllə sərf olunan vaxtın böyük qiymətləri ilə fərqlənir.

<sup>5</sup> Идельчик, В.И. Расчеты и оптимизации режимов электрических систем / В.И. Идельчик. – Москва: Энергоатомиздат, - 1988. – 288 с.

Optimallaşdırma məsələsinin həllinin effektivliyini məqsəd funksiyasının və məhdudiyətlərin ardıcıl xəttiləşdirməsinə və xətti proqramlaşdırmaya əsaslanan metodla artırmaq olar.

EES rejiminin gərginliyə, reaktiv gücə və transformasiya əmsallarına görə optimallaşdırılması məsələsinin FACTS qurğularını nəzərə almaqla ardıcıl xəttiləşdirmə üsulu ilə yerinə yetirilməsi aşağıdakı mərhələlərə gətirilir:

1. İlk yaxınlaşmada EŞQRH yerinə yetirilir.
2. QRT və məqsəd funksiyasının xəttiləşdirilir.
3. Xətti proqramlaşdırma məsələsi formallaşdırılır və həll olunur.

4. Növbəti yaxınlaşma təyin olunur və dəyişənlərin artımlarından mütləq qiymətlərinə keçilir.

5. Əvvəlcədən verilən dəqiqliyin əldə olunmasına qədər ardıcıl xəttiləşdirmə üsulu ilə optimallaşdırma prosesinin təkrarı.

EES-in qərarlaşmış rejim tənliklərinin planlaşdırılan  $Y_0$  rejimi ətrafında Teylor sırasına ayrılması yolu ilə kifayət qədər kiçik  $\Delta Y = Y - Y_0$  halı üçün doğru olan xəttiləşdirilmiş tənliklər alınır

$$\left[ \frac{\partial W}{\partial X} \right] \Delta X = - \left[ \frac{\partial W}{\partial Y} \right] \Delta Y,$$

burada  $\partial W / \partial X$  – güclərin qeyri-balanslarının asılı dəyişənlərə görə törəmələri matrisası,  $\partial W / \partial Y$  – güclərin qeyri-balanslarının tənzimlənən dəyişənlərə görə törəmələri matrisası,  $\Delta X = X - X_0$  – asılı dəyişənlərə düzəliş vektorudur.

Bu halda qərarlaşmış rejimlərin xəttiləşdirilmiş tənlikləri aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$\Delta X = S_{xy} \Delta Y,$$

Məqsəd funksiyasının xəttiləşdirilməsi planlaşdırılan rejim ətrafında aktiv güc itkilərinin Teylor sırasına ayrılması ilə yerinə yetirilir:

$$F = F(X_0, Y_0) + \frac{\partial F}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial F}{\partial X} \Delta X = F(X_0, Y_0) + S_{FY} \Delta Y$$

burada  $F(X_0, Y_0)$  məqsəd funksiyasının xəttiləşdirmə nöqtəsində qiymətidir. Məqsəd funksiyası çevrilmiş formada təsvir olunur:

$$\Delta(\Delta P_{\text{nöi}}) = c_U \cdot \Delta U + c_Q \cdot \Delta Q + c_{KT1} \cdot \Delta K_{Td} + c_{KT2} \cdot \Delta K_{Tq};$$

burada  $c_u, c_Q, c_{kt1}, c_{kt2}$  – ümumi itkilərin xəttilləşdirilmiş ifadələrinin əmsallarıdır.

Rejimin aktiv gücə görə optimallaşdırılması üçün Delphi proqramlaşdırma sistemində proqram işlənmişdir.

Ənənəvi olaraq yükün qənaətcil paylanmasında hər bir generator üçün məsrəflər funksiyası sadə kvadratk funksiya şəklində təsvir olunur:

$$E = \sum_i \left( a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \right)$$

burada  $E$  – ümumi məsrəflər;  $a_i, b_i, c_i$  -  $i$ -ci generatorun məsrəflərinin əmsalları;  $P_i$  -  $i$ -ci generatorun generasiya gücüdür.

Verilmiş məsələnin həlli üçün klassik yanaşmalar dayanıqlı olmadığı üçün süni intellekt üsullarının, xüsusi halda süni neyron şəbəkələrinin tətbiqinə əsaslanan müasir istiqamətlər perspektivlidir.

Elektrik stansiyaları arasında yükün optimal paylanması üçün süni Hopfield neyron şəbəkəsinin tətbiqi ilə alqoritm və proqram təminatı işlənmişdir.

Neyronların dinamikası aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\frac{dU_i}{dt} = \sum_j T_{ij} V_j + I_i$$

burada  $V_i = g_i(U_i)$  -  $i$ -ci neyronun çıxışı;  $g_i(U_i) = \frac{1}{1 + e^{(-U_i/u_0)}}$  -  $i$ -ci neyronun giriş-çıkış funksiyası ;  $u_0$  -sigmoid funksiyasının formasını müəyyən edən əmsaldır.

Hopfield şəbəkəsinin enerji funksiyası aşağıdakı kimi təyin edilir<sup>6</sup>:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{j \neq i} T_{ij} V_i V_j - \sum I_i V_i + \sum \theta_i V_i$$

$i$ -ci neyronun halının  $\Delta V_i$  qədər dəyişməsinə müvafiq enerjinin dəyişməsi aşağıdakı kimi olar :

---

<sup>6</sup> Park, J. H., Kim, Y. S., Eom, I. K., Lee, K. Y. Economic load dispatch for piecewise quadratic cost function using Hopfield neural network // IEEE Trans. Power Systems, -1993. vol. 8, no. 3, -p. 1030–1038.

$$\Delta E = - \left[ \sum_{j \neq i} T_{ij} V_j + I_i - \theta_i \right] \Delta V_i$$

burada  $\Delta V_i$  i-ci neyronun çıxışının dəyişməsidir.

Hopfield neyron şəbəkəsində neyronun sinaptik gücü və xarici girişi aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$T_{ii} = -A - Bc_i; \quad T_{ij} = -A; \quad I_i = A(P_{i\text{nö}} + \Delta P) - \frac{Bb_i}{2}$$

Hopfield şəbəkəsində istifadə olunan keçid modeli aşağıdakı şəkildədir:

$$U_i(k) - U_i(k-1) = \sum_j T_{ij} V_j(k) + I_i; \quad V_j(k+1) = g_i[U_i(k)].$$

Hopfield neyron şəbəkəsinin çıxış qiyməti  $P_i$  və itkilər hesablanır və sabit qəbul edilərək yuxarıdakı prosedura təkrarlanır.

İşlənmiş proqramın aprobeiası ümumi yükü 3400 MVt olan Azərbaycan EES nümunəsində yerinə yetirilmişdir. İtkilər QRT çoxvariantlı hesabatları əsasında SNŞ-dən istifadə etməklə hesablanmışdır. Cədvəl 4-də İES-in aktiv güclərinin faktiki və optimal qiymətləri verilmişdir.

#### Cədvəl. 4

##### İES generasiyasının faktiki və optimal qiymətləri

	Faktiki $P_{\text{gen}}$ , MVt	Yanacaq sərfi, ton/saat	P-nin optimal qiymətləri, MVt		Yanacaq sərfi, ton/saat	Yanacağa qənaət, ton
			Hopfield	Ədədi		
AzİES	1925	606.904	1895.7	1897	598.88	8.02
Şirvan	490	179.47	331.5	332.3	129.59	49.88
Şımaı	360	83.44	399	400	91.85	-8.41
BakıİEM- 1	67	14.3	109	110	22.54	-8.16
ModulİES	262	71.91	362	365	97.21	-25.30
Cəmi	3104	956.104	3097.2	3104	940.07	16.03



Müəyyən olunmuşdur ki, Yakobi və Z-matrisalarına və EES ümumiləşdirilmiş göstəricilərinə görə həssaslığın təhlilinə əsasən elektrik şəbəkəsinin zəif yerlərinin və qeyri-bircinsliyinin qiymətləndirilməsini və FACTS qurğularının yerləşdirilməsi yerlərinin müəyyən etmək olar.

«Azərenerji» ASC-nin 220-500 kV gərginlikli qapalı ekvivalent hissəsinin FACTS qurğularını yerləşdirmək üçün təhlili yerinə yetirilmişdir. Budaqların elektrik şəbəkəsinin qeyri-bircinsliyinə

təsirini modelləşdirmək üçün  $|\gamma|_i = \left[ \sqrt{\sum_{j=1}^m \gamma_{ij}^2} \right]$ ,  $i=1,..n$ , ifadəsindən

istifadə olunmuşdur, burada  $\gamma = M^T \cdot X \cdot r^{-1} - X_B r_B^{-1} \cdot M^T$ ;  $Z_B = r_B + jX_B$ -elektrik şəbəkəsi budaqlarının müqavimətlərindən ibarət diaqonal matrisa,  $M^T$  – budaqların düyünlərlə əlaqəsinə müvafiq transponirə olunmuş matrisadır<sup>7</sup>.

Aktiv güc itkilərinin xəttin uzununa reaktiv müqavimətinə həssaslığı aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$b_{ij} = \frac{\partial P_L}{\partial X_{ij}} = -2 \left[ V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \delta_{ij} \right] \cdot G_{ij} B_{ij}$$

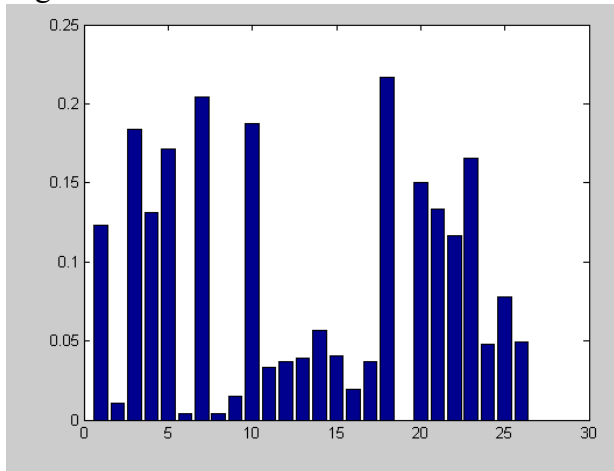
Azərenerji ASC-nin 24 düyünlük ekvivalent sxeminin budaqları üçün statik dayanıqlığın gərginliyə görə həssaslığı diagramı şəkil 10-da verilmişdir.

Elektrik şəbəkəsi rejiminin optimallaşdırılması üçün güc axınının və güc itkilərinin idarə olunan FACTS qurğusu parametrlərindən regressiya asılılığının alınması üçün metodika və alqoritm işlənmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, bazar mexanizmlərindən istifadə etməklə aktiv gücün Azərbaycan EES elektrik stansiyaları arasında optimal paylanması yanacaq sərfinin azaldılması hesabına il ərzində  $16.3 \cdot 5000 = 81500$  ton yanacağa qənaət hesabına iqtisadi səmərəyə gətirə bilər. FACTS qurğularının Azərbaycan EES 220-500 kV gərginlikli ayrı-ayrı hissələrində optimal yerləşdirilməsi aktiv

---

<sup>7</sup> Лежнюк, П.Д., Кулик, В.В., Оболонский, Д.И. Моделирование и компенсация влияния неоднородности электрических сетей на экономичность их режимов // - Москва: Электричество – 2007. № 11, - с. 2-8.

güc itkilərinin  $4.37 \div 7.57$  MVT azalmasına və istismarının qənaətcilliyinə gətirə bilər.



Şək. 10. 24 düynlük sxemin budaqlarının həssaslığı

Bu fəslin nəticələri [1, 2, 12, 13, 37,38, 50, 52, 53, 55]sayılı işlərdə öz əksini tapmışdır.

**Beşinci fəsil**də regressiya modelləri əsasında elektrik enerjisi itkilərinin proqnozlaşdırılmasının və ölçülməsinin nəticələri verilmişdir. Ənənəvi olaraq hər bir hesabat dövründə itkilərin hesabatı şəbəkənin sxem və rejim parametrlərinə görə qərarlaşmış rejimlərin bir sıra hesabatlarına əsaslanır. Bu hesabatlar böyük ölçüsü, informasiya problemləri və hesabat müddəti ilə xarakterizə olunur. Operativ idarəetmə elektrik təchizat sistemlərində tez təsir edən idarəetmə və proqnozlaşdırma alqoritmlərini tələb edir.

Aktiv gücün yük itkilərinin proqnozlaşdırması üçün aşağıdakı şəkildə polinomial modeldən istifadə olunur:

$$\Delta P(x_1, \dots, x_k) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{i,j} x_i x_{ij} + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2,$$

burada  $\Delta P$  – aktiv güc itkiləri;  $x_i$  və  $x_j$  – regressiya tənliyinin asılı olmayan dəyişənləri;  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{i,j}$ ,  $b_{ii}$ - regressiya tənliyinin əmsalları;  $k$  – faktorların sayıdır.

EE itkilərinin ehtimal-statistik metodlarla, xüsusi halda regressiya asılılıqları ilə təyin edilməsində aşağıdakı mərhələlər yerinə yetirilir:

rejimlərin buraxıla bilən olması və birgəliyi; qərarlaşmış rejimlərin çoxvariantlı hesabları ilə itkilərin hesablanması; regressiya asılılıqlarının alınması və regressiya əmsallarının qiymətləndirilməsi; regressiya əmsallarının əhəmiyyətliyi statistik qiymətləndirilməsi; regressiya modelinin adekvatlığının yoxlanması.

Eksperimentin planlaşdırılması metodu ilə güc itkilərinin proqnozlaşdırılması metodikasına əsaslanan proqram-hesabat kompleksi işlənmişdir. Həmin proqram Azərenerji ASC-nin 110, 220, 330, 500 kV gərginlikli elektrik şəbəkələrində aktiv güc itkilərinin elektrik stansiyalarının aktiv və reaktiv güclərindən, gərginliklərdən asılı olaraq proqnozlaşdırılması üçün istifadə olunmuşdur. Cədvəl 5-də Azərenerji sxemi üçün itkilərin regressiya tənliyinin tam kvadratik modelinin əmsalları verilmişdir

**Cədvəl 5**

Kvadratik regressiya tənliyinin əmsalları ( $B_0 = 49.543$ )

№	Düynün adı	Faktorun tipi	Əmsallar	
			Xətti	Qeyri-xətti
1	Sum-İES	P	1.3173	1.329
2	Şimal İES	P	4.2234	6.767
3	BakİES-1	P	-0.4704	0.360
4	Şirvan220	P	1.6042	1.382
5	Ümumi yük	P	12.2802	19.876
6	SumgİES	Q	1.6797	0.662

Bu halda orta kvadratik xəta 0.78%, maksimal xəta 2.12% təşkil etmişdir.

Ən kiçik kvadratlar metodu ilə regressiya tənliyinin alınması üçün itkilərin imitasiya modelləşdirilməsi ilə eksperimentlər çoxluğunun planlaşdırılması üçün proqram təminatı işlənmişdir. Proqram məlumatların daxil edilməsi və çıxarılması, təsadüfi ədədlərin generasiyasına müvafiq olaraq eksperimentlərin formalaşdırılması və eksperimentlərin nəticələrinin emalı, normal tənliklərin formalaşdırılması və tənliklər sisteminin həlli, alınan asılılıqların əmsallarının qiymətləndirilməsi və tənliyin bütövlükdə adekvatlığının yoxlanması altproqramlarından ibarətdir.

Enerji sistemlərinin elektrik şəbəkələrində güc itkilərinin SNŞ-dən istifadə etməklə proqnozlaşdırılması da tədqiq olunmuşdur.

Müqayisəli təhlilin nəticələrindən alınır ki, eksperimentin planlaşdırılması metodu faktorların sayının 10-dan az olduğu halda, ən kiçik kvadratlar üsulunu 10-dan çox olduğu halda istifadə etməyi tövsiyyə etmək olar. Süni neyron şəbəkələri nəticələrin yüksək dəqiqliyi tələb olunduqda üstünlüyə malikdir.

Paylayıcı elektrik şəbəkələri üçün dəyişən itkilərin davamiyyətə görə yük qrafikinə imitasiya modelləşdirilməsi yolu ilə təyin edilməsi metodikası təklif edilmişdir. Davamiyyətə görə yük qrafiklərini  $T_{\max}$ -ın müxtəlif qiymətləri üçün beta-paylanma qanununa tabe olan kəsilməz təsadüfi kəmiyyət kimi təsvir etmək olar<sup>8</sup>:

$$F(x, \gamma, \eta) = \begin{cases} 0 & x < 0, \\ \frac{\tilde{A}(\gamma + \eta)}{\tilde{A}(\gamma)\tilde{A}(\eta)} \int_0^x t^{\gamma-1} (1-t)^{\eta-1}, & 0 \leq x \leq 1, \\ 1, & x > 1, \end{cases} \quad t \rightarrow$$

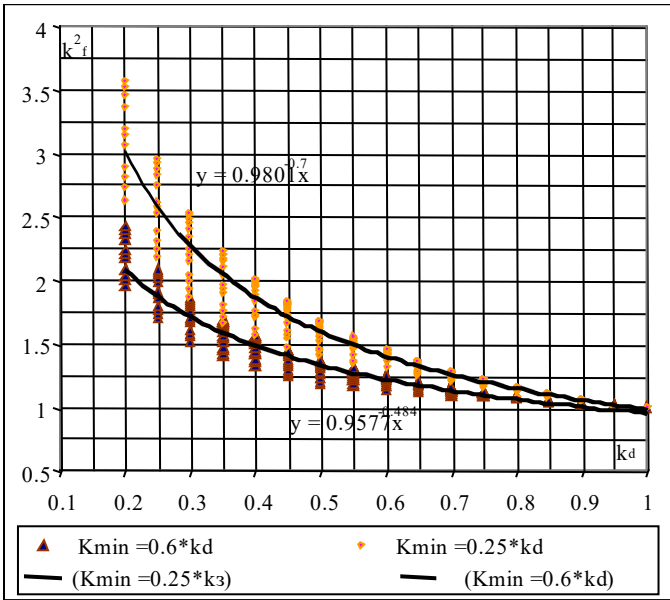
burada  $\Gamma$  – gamma funksiya,  $\tilde{A}(\eta) = \int_0^{\infty} x^{\eta-1} \cdot e^{-x} dx$ ,  $\gamma$  və  $\eta$  paylanma funksiyasının formasının parametrləridir.

Forma əmsalının kvadratının empirik asılılıqlarını almaq üçün Yüklə qrafiklərinin  $I = I_{\min} + (I_{\max} - I_{\min}) \cdot e^{-(\alpha_2 t)^{\rho}}$  eksponensial funksiya şəklində təsvir edilməsi təklif olunmuşdur, burada  $\alpha$  və  $\rho$  – aproksimasiya nəticəsində təyin edilən miqyas parametrləridir.

Dəyişən itkilərin davamiyyətə görə yük qrafikinə imitasiya modelləşdirilməsi yolu ilə təyin edilməsi metodikasının realizə edildiyi proqram forma əmsalının modelləşdirilməsinin dəqiqliyini və çevikliyi artırmağa imkan verir və məlum proqramlardan sadəliyinə və daha az vaxt sərfinə görə fərqlənir. Forma əmsalının kvadratının  $k_d$ ,  $k_{\min}$  и  $k_{\max}$  –dən asılı olaraq dəyişməsi şəkil 11-də verilmişdir.

<sup>8</sup> Клебанов, Л.Д. Вопросы методики определения и снижения потерь электрической энергии в сетях / Л.Д. Клебанов. - Ленинград: Изд-во ЛГУ, - 1973. - 72 с.

Yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin uclarında rejim parametrlərinin xüsusiləşdirilmiş intellektual rəqəmsal cihazlardan istifadə etməklə ölçüləri əsasında aktiv güc itkilərinin operativ qiymətləndirilməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir



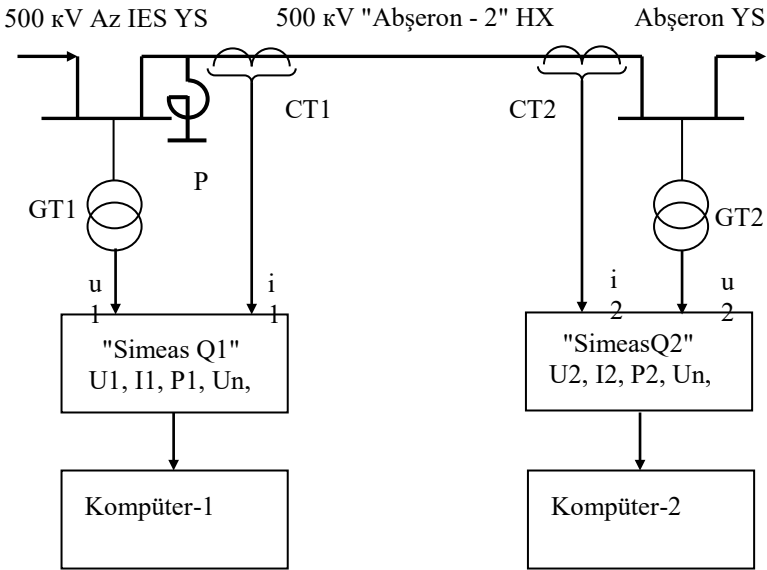
Şəkil 11.  $k_f^2$  dəyişmə intervalları

Şəkil 12-də 500 kV gərginlikli 2-ci Abşeron hava xəttinin əvvəlindəki 500\330 kV gərginlikli “Azərbaycan İES” yarımstansiyasında və xəttin sonunda 500\330\220 kV gərginlikli «Abşeron» 500\330\220 yarımstansiyasında yerləşdirilmiş ölçü hesablama komplekslərindən ibarət olan kompleks ölçü sistemi təsvir olunmuşdur.

500 kV gərginlikli hava xəttində 20.02.2008 tarixində sutka ərzində 5 dəqiqə ortalama müddətində ölçülmüş aktiv, reaktiv güclər və gərginliklərin qrafikləri şəkil 13-də verilmişdir.

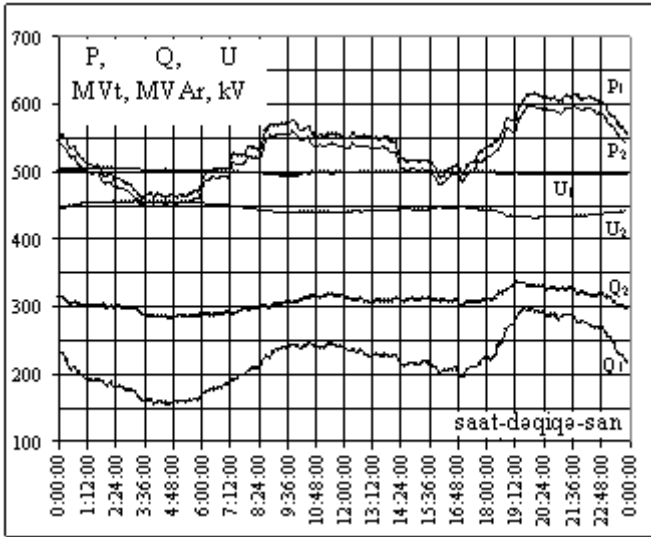
İstismar prosesində hava xəttinin rejim parametrlərinin izlənməsi ilə qızma və tac hadisəsindən yaranan itkilərin və müvafiq olaraq müqavimət və keçiriciliyin, həmçinin tutumun operativ

dəqiqləşdirilməsi təklif olunur. Yüksək gərginlikli elektrik şəbəkəsində gərginlik və cərəyan transformatorlarının tam parametrlərinə görə aktiv gücün və elektrik enerjisinin ölçülməsi sisteminin sistematik xətasının hesablanması üçün program işlənmişdir.



**Şək. 12.** 500 kV gərginlikli hava xəttində rejim parametrlərinin ölçülməsi sxemi

Proqramdan istifadə edərək ölçü kompleksinin xətasını həm operativ hesablamaq, həm də xarakteristikaları analitik şəkildə almaq olar. 500 kV gərginlikli hava xəttində itkilərin ayrılmasının nəticələri şəkil 14-də verilmişdir.

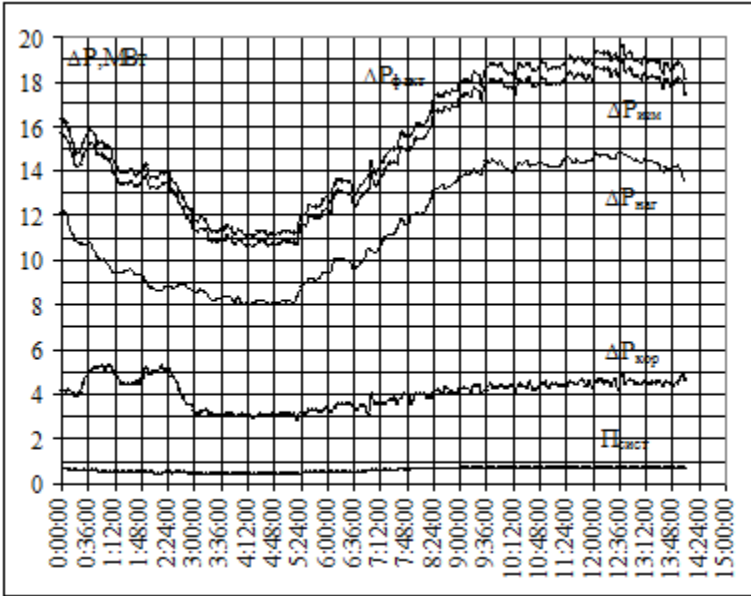


Şək. 13. 500 kV gərginlikli hava xəttində rejim parametrlərinin ölçülməsinin nəticələri

Bu fəslin nəticələri [3, 5, 6-10, 18-20, 24-26, 35, 39-41, 43-44] sayılı işlərdə öz əksini tapmışdır.

**Altıncı fəsildə** sinxronlaşdırılmış vektor ölçülərinə (SVÖ) və onların dəqiqliyinə əsaslanan elektrik verilişi xəttinin riyazi modeli işlənmişdir. SCADA kompleksləri saniyədə bir dəfə teleməlumatı zamana görə sinxronlaşdırma olmadan qəbul və emal edir. Peyk rəbitəsinin meydana gəlməsi ilə yeni ölçü qurğuları – PMU (phasor measurement units) yarandı. EES-nin ənənəvi SCADA vektoru  $\bar{y} = \{P_i, Q_i, P_{ij}, Q_{ij}, U_i, I_i, I_{ij}\}$

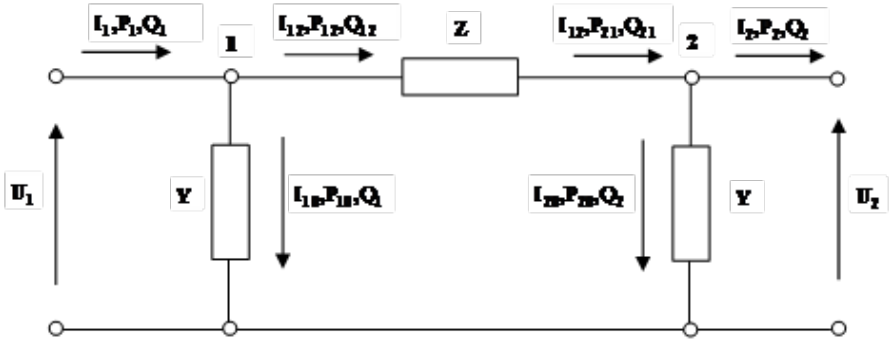
SCADA-dan fərqli olaraq PMU ölçmələri  $Y = [P_i, Q_i, P_{ij}, Q_{ij}, U_i, I_i, I_{ij}]$  şəkilindədir. Ölçülərin dəqiqliyinin artması ilə əlaqədar olaraq sinxronlaşdırılmış vektor ölçülərin dəqiqliyinə uyğun gələn hava xəttinin halının qiymətləndirilməsinə müvafiq HX riyazi modeli seçilməsi aktuallaşır.



Şək. 14. 500 kV gərginlikli hava xəttində güc itkiləri

Bu fəsildə təklif olunmuş ifrat yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin rejiminin modelləşdirilməsinin dəqiqliyini artırılması metodu HX-nin  $\pi$  şəkilli hissələrlə, taclanma itkilərini gərginliyin  $\rho$ -cu qüvvəti ilə, taclanmanı reaktiv effektinin təyin olunması, taclanma itkilərini və əlavə tutumun HX hissələrinin sonlarında əlavə yük qismində təsfir olunması, və hər hissənin əvvəlində gərginliyin həmin hissənin sonlarındakı verilənlərdən asılılığını nəzərə alınmasına əsaslanır.





Şək.15 Xətt hissəsinin hesabat sxemi

**Xətt hissəsinin rejimini hesablamaq üçün riyazi model.**

HX-nin sonunda yük cərəyanı müəyyən edilir:

$$\dot{I}_{i\bar{a}\bar{a}} = \frac{S_{i\bar{a}\bar{a}}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{i\bar{a}\bar{a}}$$

Xətdəki cərəyanlar

$$\dot{I}_{12} = \dot{I}_2 + \dot{U}_2 \cdot \underline{Y}$$

$$\dot{I}_{21} = \dot{I}_1 - \dot{U}_1 \cdot \underline{Y}$$

HX-nin əvvəlində gərginlik

$$\Delta \dot{U}_{12} = \dot{I}_{12} \cdot \underline{Z}_{12}$$

Burada  $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \Delta \dot{U}_{12}$ ,  $Z$  – hissənin müqaviməti;  $Z_0 = r_0 + jx_0$ ;  $Y_0$  – xəttin keçiriciliyidir,  $Y_0 = g_0 + jb_0$ .

Xəttin uclarındakı cərəyan və gərginlik komplekslərini ölçməklə ekvivalent sxemin parametrləri HX-nin rejimini təsvir edən tənliklərdən təyin edilir.

$$(4-6) \text{ tənlikləri itkilərin keçiriciliklə } g_0 = \frac{\Delta P_{k0}}{U_{\text{m}}^2} \text{ təqdim}$$

olunması şərti ilə əldə edilir, burada  $\Delta P_{k0}$  – HX-nin nominal  $U_{\text{nom}}$  xətt gərginliyinə uyğun xüsusi tac itkiləridir.

Xüsusi tac itkilərinin gərginlikdən asılılığını aşağıdakı kimi təqdim edilə bilər

$$\Delta P_{k0} = \Delta P_{k0} \cdot \left( \frac{U_k}{U_{\text{m}}} \right)$$

burada  $U_k$  - k düyünündə faktiki gərginlik,  $\rho$  – qüvvət üstüdür.

Eyni zamanda, güc itkiləri aşağıdakı düstura görə HX-nin bərabər paylanmış keçiriciliyində itkilər kimi təyin edilə bilər

$$\Delta P_{k0} = 3 \cdot g_0 \cdot \int_0^L U_l^2 dl$$

**Reaktiv keçiriciliyin reaktiv tac effektinə əsasən dəqiqləşdirilməsi.** Paylanmış parametrlə xəttin tənliklərində HX-nin reaktiv gücün generasiyası xəttin uzunluğuna görə reaktiv keçiriciliklə nəzərə alınır. Əlavə tutum, tacda güc itkilərinin məlum xarakteristikasına görə və tac cərəyanının birinci harmonikasının gərginliyə nəzərən sürüşmə bucağı ilə müəyyən edilir:

$$\Delta C = \frac{\Delta P_k}{\omega \cdot U^2} \cdot \text{tg}\psi,$$

burada  $\omega$  - bucaq tezliyi;  $U$  - xətt gərginliyi;  $\psi$  - tac cərəyanının birinci harmonikasının gərginliyə nəzərən sürüşməsinin faza bucağıdır.

Təklif olunan metodika əsasında, EVX-nin rejiminin modelləşdirilməsi üçün proqram işlənmişdir (şək.2). SVÖ-dən alınan məlumatların tətbiqi və gərginlikdən itkilərin xarakteristikaları nəzərə alınaraq EVX-nin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi məsələsinin həll algoritmi aşağıdakından ibarətdir:

1. Hava şəraiti qrupu üçün İYG HX barədə ilkin verilənlərin, tac itkilərinin xarakteristikalarının və  $\rho$  qüvvətüstünün verilməsi.

2. Tacda güc itkilərinin gərginlikdən (7-10) asılılıqlardan istifadə edərək hissənin uclarındaki rejim verilənlərinə görə modelləşdirilməsi və xəttin uclarında əlavə yük kimi təSVÖr edilməsi.

3. Xətt hissəsində tacın reaktiv təsirinin əlavə reaktiv keçiricilik kimi (10) əsasında modelləşdirilməsi və xətt tənliklərində onun ümumi keçiricilik şəklində təSVÖr edilməsi.

4. İYG HX hissəsinin rejiminin paylanmış parametrlı tənliklərə əsasən hesablanması.

5. İYG HX-ninin hissəsinin rejiminin  $\Pi$ -şəkilli sxem tənliklərinə və Nyuton metoduna əsasən hesablanması.

6. Vəziyyətin xətti və qeyri-xətti üsullarla qiymətləndirilməsi.

Ölçmələri  $\Pi$ -şəkilli sxemə görə alınmış rejim parametrlərlə göstərdikdə, VQ nəticələri orta kvadratik xətası (OKM) sıfır olan həll verir. Ölçmələr kimi paylanmış parametrlı tənliklər əsasında əldə edilmiş rejim parametrlərinin qəbul edildə, VQ nəticələri  $\Pi$ -şəkilli sxemin modelin nisbi xətasına uyğun olan OKM verir.

İYG HX rejimini PMU ölçmələri və elektrik şəbəkələrinin qararlaşmış rejimlərinin hesablanması nəticələrinə əlavə gücün təsiri əsasında modelləşdirmək üçün faza konstruksiyası  $3xAC-330/43$ ,  $r_0=0.029$  Ohm/km,  $x_0=0.299$  Om/km,  $b_0=3.74*10^{-6}$  S/km olan 500 kV-luq HX üçün hesablamalar yerinə yetirilmişdir. Xəttin uzunluğu 350 km-dir.

Hesablamalar gərginlik xarakteristikası qüvvətüstü  $\rho=4$ , məftilin temperaturu  $20^0C$ , uyğun olaraq tacda xüsusi itkilərin  $100$  Vt/m və məftilin temperaturu  $-10^0C$  gərginlikdən itkilər xarakteristikasının qüvvətüstü  $\rho=2.4$  verilməklə aparılmışdır.

Cədvəl 1-də hava xəttinin sonunda ötürmə rejimi  $U_2=490$  kV və  $S_2=900+j50MVA$ , xüsusi tac itkiləri  $4$  Vt/m olduğu hal üçün HX-nin hesablanmasının mənzillərinin uzunluğundan asılı olaraq düyünlərdə güclər balansını şəklində xətt tənlikləri və Nyuton metodu ilə həllindən alınmış nəticələri göstərilmişdir.

Cədvəlin sonuncu sətirində, paylanmış parametrlə tənləklərə görə hava xətti rejiminin hesablanması etalon kimi qəbul edilmiş nəticələri təqdim olunmuşdur.

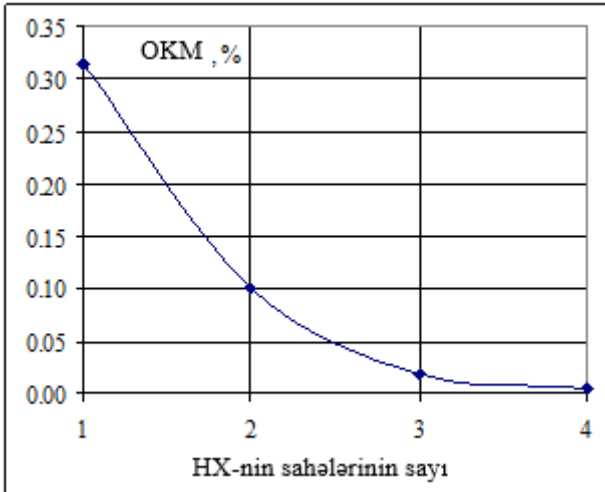
PMU ölçmələri, 5 dүйünlü test sxeminin qərarlaşmış rejimi üçün hesablama nəticələrinin küylənməsi ilə modelləşdirilmişdir, bu zaman ölçmə xətlərinin təsadüfi xarakterə malik olduğu və normal paylanma qanuna tabe olduğu qəbul edilmişdir. Buna əsasən, təsadüfi ölçmə xətlərinin həqiqi qiymətlərdən kənara çıxmıdığı qəbul edilir, yəni onların ölçmə qurğusu üçün verilmiş dəqiqlik hədudlarında olduğu güman edilir. PMU üçün aşağıdakı ölçmə dəqiqliyi qəbul edilmişdir: cərəyan və gərginlik üçün - 0,3%, bucaq üçün - 0,1<sup>0</sup>

HX-nin 350 km-lik sahələrlə təqdim edilməsi		$U_{başl}$	$\delta_{baş}$	$I_{başl}$	$\varphi_{ba}$
Say	Uzunluğu, km	kV	rad	kA	rad
1	350	523.2937	0.3810	1.7944	-0.3040
2	175	521.5721	0.3755	1.7976	-0.3066
3	116.67	521.2644	0.3746	1.7982	-0.3070
4	87.5	521.1575	0.3742	1.7984	-0.3072
5	70	521.1081	0.3740	1.7984	-0.3073
7	50	521.0652	0.3739	1.7985	-0.3073
	UXT-yə görə	521.0206	0.3737		

Şək.16-da ayazlı hava qrupu üçün tacda düşən xüsusi güc itkiləri 100 Vt/m və gərginliyin xarakteristikasının qüvvətüstü  $\rho=2$  olduqda xətt hissələrinin uzunluğundan asılı olaraq vəziyyətin qeyri-xətti qiymətləndirilməsi nəticələri göstərilmişdir.

VQ nəticələri göstərir ki, HX mənzəllərinin uzunluğu nə qədər az olarsa, VQ-nin OKM-i az və modelin dəqiqliyi bir o qədər yüksək olur. HX modelinin metodiki xətası tac itkiləri səviyyəsi artıqca böyüyür. Yaxşı hava şəraitində II-şəkilli HX sxeminə görə metodiki xəta 0.014%-ə çatır. Pis hava şəraitində (yağış, ayaz) II-şəkilli hava

xətti sxeminə görə modelləşdirmə xətası artır və  $\sigma$  0,3% və ya daha çox olur. Buna görə də HX  $\Pi$ -şəkilli sxeminin modelləşdirilməsi və PMU verilənlərin dəqiqliyi ilə uzlaşması dəqiqliyini yüksəltmək üçün uzunluğu daha az olan zəncirvari manqalı  $\Pi$ -şəkilli HX sxeminin istifadə edilməsi zərurəti meydana çıxır.

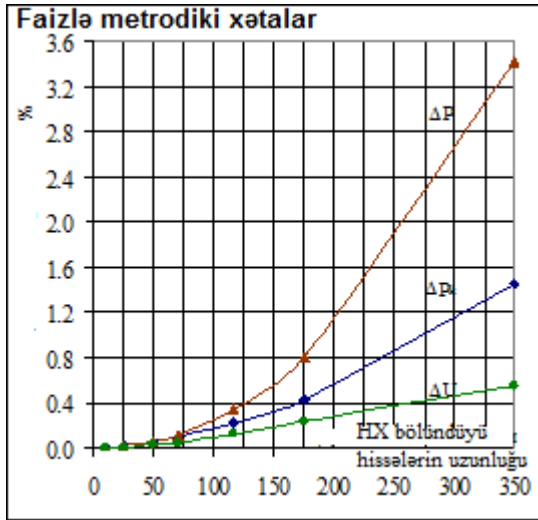


Şək.16. Gərginliyin OKM-in HX hissələrinin sayından faizlə asılılığı

$\Delta P_{k0}=100$  BТ/М,  $\rho=4$ ,  $\Delta C=10\%$  olduqda uzunluğu 350 km olan 500 kV-luq HX-nin  $\square$ -şəkilli ekvivalent sxem görə hesablanmasının metodiki xətalərin asılılıqları şək.17.-də təqdim olunmuşdur.

Nyuton-Rafson metoduna görə:

$$\text{VecMN} := \begin{pmatrix} \text{UnacMN} \\ \text{User2MN} \\ \text{UkonMN} \\ \text{I12MN} \\ \text{-I21MN} \\ \text{I23MN} \\ \text{-I32MN} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 521.02058 \\ 496.29613 - 92.38887i \\ 454.90177 - 179.89807i \\ 1.7954 + 0.128i \\ -1.7637 - 0.4607i \\ 1.7637 + 0.4607i \\ -1.6733 - 0.7716i \end{pmatrix}$$



Şək.17 metodik xətlərin HX bölündüyü hissələrin uzunluğundan asılılığı

Uzun xətt tənlikləri:

$$\text{VecEt} := \begin{pmatrix} \text{UnacEt} \\ \text{User2Et} \\ \text{UkonEt} \\ \text{I12Et} \\ \text{-I21Et} \\ \text{I23NEt} \\ \text{-I32KEt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 521.02058 \\ 496.9188 - 91.8778i \\ 456.17116 - 178.90745i \\ 1.79465 + 0.1193i \\ -1.76297 - 0.45323i \\ 1.76297 + 0.45323i \\ -1.67267 - 0.76562i \end{pmatrix}$$

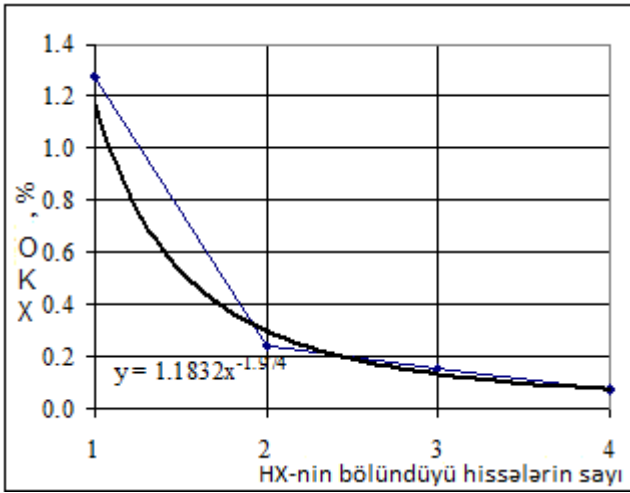
Vəziyyəti qiymətləndirdikdən sonra:

$$\text{OsenkaVekSost} = \begin{pmatrix} 521.0591 + 0.0039i \\ 508.5433 - 46.1204i \\ 491.7732 - 90.9249i \\ 481.0698 - 136.8879i \\ 456.0588 - 178.9172i \end{pmatrix}$$

Şək.18-də yaxşı hava qrupu üçün tacda düşən xüsusi güc itkiləri 4 Vt/m və gərginlik xarakteristikasının qüvvətüstü  $\rho=2$  olduqda vəziyyətin xətt hissələrinin uzunluğundan asılı olaraq xətti qiymətləndirilməsi nəticələri göstərilmişdir.

HX-ni 2 hissəyə böldükdə xətti vəziyyət qiymətləndirmə (VXQ) nəticələri alınmış OKM xeyli azalmışdır (1.29%-dən 0.0.244%-ə qədər) və bu VXQ-nin səmərəli olduğunu təsdiq edir.

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, ifrat yüksək gərginlikli hava xəttinin misalında qərarlaşmış rejimlərin məlum sadələşdirilmiş modelləri paylanmış parametrlı tənliklərə nisbətən sinxronlaşdırılmış vector ölçmələrin dəqiqliyinə müvafiq dəqiqliyi təmin edə bilmir.



Şək.18 Faizlə OKX-nın HX bölündüyü hissələrin sayından asıllığı

Kipnist-Şamilin yenidən xəttləşdirmə üsulunda ölçülər düyündə gərginliyin düzbucaqlı kordinatlardan istifadə etməklə formaləşdirilir. Belə hallar ölçülərin qeyri-xətti tənlikləri gərginliyin kvadratik polinurlarına çevirilir.

Sonra metod ilkin sistemin

iki çevrilməsindən istifadə edərək qeyri-iterativ üsulla kvadratik dəyişənləri tapır.

Ölçü tənlikləri aşağıdakı kimidir:

- gərginliyin modulunun ölçüləri

$$U_i^2 = U_{iR}^2 + U_{iI}^2; \quad U_j^2 = U_{jR}^2 + U_{jI}^2;$$

burada  $U_i$  və  $U_j$  -  $i$  və  $j$  düyünlərinin gərginliklərinin moduludur.

- aktiv və reaktiv güc axınlarının tənlikləri:

$$P_{ij} = g_{ij}(U_{iR}^2 + U_{iI}^2 - U_{iR}U_{jR} - U_{iI}U_{jI}) + b_{ij}(U_{iI}U_{jR} - U_{iR}U_{jI});$$

$$Q_{ij} = b_{ij}(U_{iR}^2 + U_{iI}^2 - U_{iR}U_{jR} - U_{iI}U_{jI}) + g_{ij}(U_{iR}U_{jI} - U_{iI}U_{jR}) + b_s U_i^2;$$

$$g_{ij} = \frac{R_{ij}}{Z_{ij}^2}, \quad b_{ij} = \frac{X_{ij}}{Z_{ij}^2}; \quad Z_{ij}^2 = R_{ij}^2 + X_{ij}^2;$$

burada  $i$  – aktiv gücü göndərən düyün,  $j$ - aktiv gücü qəbul edən düyündür.  $R_{ij}$ ,  $X_{ij}$ ,  $b_s$  – müvafiq olaraq xəttin aktiv, reaktiv müqaviməti və keçiriciliyidir.

Düyünlərdə güclərin tənlikləri aşağıdakı kimi tərtib olunur:

$$P_i = \sum P_{ij} + G_i U_i^2, \quad Q_i = \sum Q_{ij} + B_i U_i^2$$

burada  $j$ -  $i$ -ci düyünlə birləşmiş düyünlərdir.

Bir halda ki, bu tənliklər ( $U_{iR}^2$ ,  $U_{iI}^2$ ;  $U_{iR} U_{jR}$  və s.) - ə nəzərən xəttidir onları matris şəkilində təsfi etmək olar:

$$A_\xi \xi = C$$

burada  $C$  – ölçülmüş qiymətlər vektoru  $\xi$  – gərginliyin kvadratik qiymətləri vektoru  $A_\xi$  – isə  $\xi$  üçün əmsallar matrisidir.

Dəyişənlərin əvəz olunması yerinə yetirilir və  $A_\xi \xi = C$  sistemi aşağıdakı şəkil alır:

$$[A \ B] \begin{bmatrix} Y \\ Z \end{bmatrix} = C,$$

burada  $A$ - xətti asıllı olmayan,  $B$ -isə  $A_\xi$  qalan sütunlarını özündə cəmləşdirir,  $Y$ -  $\xi$  vektorunun  $A$  müvafiq qiymətləri,  $Z$  isə  $B$ -yə müvafiq elementlərdir.

Yuxarıda göstərilmiş sistem açıq şəkildə aşağıdakı kimi təsfi olunur.



$$\begin{bmatrix} y_1 \dots y_{N_y} z_1 \dots z_{N_z} \end{bmatrix}^T = E \cdot \begin{bmatrix} 1 z_1 \dots z_{N_z} \end{bmatrix}^T ;$$

$$E = \begin{bmatrix} d & 0 \dots 0 \\ D & I \end{bmatrix}^T .$$

Modeləşdirilmə 500 kV gərginlikli, 350 km uzunluqlu elektrik verilmiş xətti üzərində yerinə yetirilmişdir. Aktiv (P) və reaktiv (Q) güc axınları 4 ölçü tənliyindən alınır. HX-nin nisbi vahidlərdə parametrləri R=0.0046 ; X=0.04186 ; g=0.014; b=3.2 ölçülər bərabərdir : U<sub>1</sub>=520.06 kV : U<sub>2</sub>= 490 kV ; P<sub>12</sub>=935.18 MVt ; Q<sub>12</sub>= 80.07 Mvar.

EVX düyünlər və qidalar üzrə qərarlaşmış rejimi nəticələri belədir: U<sub>1</sub>=1.042; U<sub>2</sub>=0.973; δ<sub>1</sub>=0<sup>0</sup>; δ<sub>2</sub>=-22.64<sup>0</sup>; P<sub>1gen</sub>=935.18MVt; Q<sub>1gen</sub>=80.070MVA; P<sub>1yük</sub>=0MVt; Q<sub>1yük</sub>=0MVA; P<sub>2reh</sub>=0MVt; Q<sub>2gen</sub>=0MVA; P<sub>2yük</sub>=900MVt; Q<sub>2yük</sub>=50MVA; P<sub>12</sub>=935.18MVt; P<sub>21</sub>=900 MVt; Q<sub>12</sub>=80.07MVA; Q<sub>21</sub>=50 Var

Yük itkiləri ΔP=35.184 MVt, ΔQ=62.76 Mvar.

Bu fəsilin əsas nəticələri [56, 57, 58, 65, 66, 69] - cu işlərdə öz əksini tapmışdır.

## İşin əsas nəticələri

1. FACTS qurğularını nəzərə almaqla EES qərarlaşmış rejimlərinin təhlili, planlaşdırılması və idarə edilməsi üçün metodika, alqoritm və proqram təminatı işlənmişdir. Müəyən olunmuşdur ki, EŞQRH müvafiq tənliklərin bircə və ayrı-ayrılıqda həlli ilə qurmaq olar. FACTS qurğularını nəzərə almaqla EES qərarlaşmış rejimlərinin həlli üçün xarici iterasiyada fərqi nəzərə almaqla təshih etmə alqoritmi təklif olunmuşdur.

2. Süni neyron şəbəkələrinin tətbiqi ilə EŞQRH məsələsinin formallaşdırılmasının mərhələləri işlənilib hazırlanmışdır, həmin mərhələlərin realizasiyasının metodikası və alqoritmü müvafiq proqram təminatı şəklində realizə olunmuşdur. EŞQRH məsələsi üçün süni neyron şəbəkələrinin tətbiqinin fərqləndirici xüsusiyyəti çoxvariantlı hesabatların yerinə yetirilməsinin mümkünlüyü və hesablamaların yerinə yetirilməsi üçün tələb olunan vaxtın əhəmiyyətli dərəcədə azaldılmasıdır.

3. EŞQRH məsələsinin həllinin alınmasının etibarlılığını artırmağa imkan verən, hesabatlardan əvvəl və həll prosesində ilkin verilənlərin, sxem və rejim parametrlərinin təhlili, iterasiya prosesinin yığılmaması və həllin olmamasının diaqnostikası, qərarlaşmış rejim tənliklərinin yazılış formalarının, həll metodlarının seçilməsi, xüsusiləşdirilmiş alqoritmlərin tətbiqi zərurətinin araşdırılması əsasında həllin alınmasının avtomatlaşdırılması məsələsi qoyulmuş və işlənmişdir.

4. Yüksək gərginlikli elektrik verilmiş xətti olan elektrik şəbəkəsinin qərarlaşmış rejimlərinin fiziki realizə oluna bilən həllinin alınması üçün hesabat PU düyünlərinin daxil edilməsinə və bu düyünlərin gərginliklərinin əks əlaqə prinsipi ilə təshihinə əsaslanan metodika təklif olunmuşdur.

5. Stansiyaların konkret yükləri və elektrik şəbəkəsinin əvəz sxemindəki xətləri təchiz etməsində payının təyin edilməsi məqsədi ilə güc axınlarının ünvanlı paylanması məsələsinin həlli üçün metodika və alqoritm işlənmişdir. Aktiv güc axınlarının ünvanlı paylanmasının matris və dekompozisiya metodları, güc itkilərinin paylanmasının marginal və Z-matris metodları təhlil olunmuşdur

6. Məqsəd funksiyasının və məhdudiyyətlərin ardıcıl xəttilləşdirilməsinə əsaslanan iterativ proseduranın tətbiqi modeli FACTS qurğularını nəzərə almaqla optimallaşdırma məsələsinin həlli üçün təkmilləşdirilmişdir.

7. Topdansatış bazarında elektroenergetika sistemi rejiminin aktiv gücə görə optimallaşdırılması məsələsi tədqiq olunmuş, bərabərsizlik şəklində məhdudiyyətləri nəzərə almaqla koordinat-eniş metodu əsasında müvafiq proqram təminatı işlənmişdir.

8. Yükün elektrik stansiyaları arasında optimal paylanması üçün süni Hopfield neyron şəbəkəsinin tətbiqi ilə alqoritmlər və proqram təminatı işlənmişdir.

9. Dəyişən itkilərin davamiyyətə görə yük qrafiklərinin eksponensial funksiya şəklində imitasiya modelləşdirilməsi əsasında təyin edilməsi metodikası işlənmişdir.

10. Statistik metodların tətbiqi ilə aktiv güc itkilərinin təsiredici faktorlardan asılı olaraq gərginlik sinifləri üzrə proqnozlaşdırılması üçün imitasiya modelləşdirilməsinə və eksperimentin planlaşdırılması, ən kiçik kvadratlar metodu, süni neyron şəbəkələrinin tətbiqinə əsaslanan metodikalar, alqoritmlər işlənmiş və müqayisəli təhlil olunmuşdur.

11. Yakobi və Z-matrisalarına və EES ümumiləşdirilmiş göstəricilərinə görə həssaslığın təhlilinə əsaslanan alqoritmlər və proqram təminatı şəklində realizə olunmuş və FACTS qurğularının yerləşdirilməsi yerlərinin müəyyən edilməsi məqsədi ilə elektrik şəbəkəsinin zəif yerlərinin və qeyri-bircinsliyinin təyin edilməsi üçün istifadə olunmuşdur. Elektrik şəbəkəsi rejiminin optimallaşdırılması üçün güc axınının və güc itkilərinin idarə olunan FACTS qurğusu parametrlərindən regressiya asılılığının alınması üçün metodika və alqoritmlər işlənmişdir.

12. Yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttinin uclarında rejim parametrlərinin ölçüləri əsasında aktiv güc itkilərinin operativ qiymətləndirilməsi sistemində olan tələblər müəyyən olunmuşdur. Kompüterlə birgə işləyə bilən xüsusişəkilmiş rəqəmsal cihazlardan istifadə etməklə 500 kV gərginlikli hava xəttinin uzlarında rejim parametrlərinin ölçülməsinin nəticələrinə görə təhdidəndən

yaranan itkilərin ayrılması üçün eksperimental tədqiqatlar yerinə yetirilmişdir.

13. Kəskin dəyişən qeyri-xətti yükün enerjisi sistemdə elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinə təsirinin təyin edilməsi üçün yüksək gərginlikli yarımstansiyada eksperimental tədqiqatlar yerinə yetirilmiş və flikerin dozası göstəricisinin pozulması müəyyən olunmuşdur. Tez təsir edən FACTS qurgularının tətbiqi gərginliyin rəqslərinin söndürülməsi probleminin həllinə imkan verir

14. EE itkilərinin hesablanması üçün proqram kompleksləri işlənmiş və yerinə yetirilmiş hesabatların nəticələri Azərenerji ASC-nin aparıcı müəssisələrində tətbiq olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, bazar mexanizmlərindən istifadə etməklə aktiv gücün Azərbaycan EES elektrik stansiyaları arasında optimal paylanması yanacaq sərfinin azaldılması hesabına il ərzində  $16.3 \cdot 5000 = 81500$  ton yanacaq qənaət hesabına iqtisadi səmərəyə gətirə bilər. FACTS qurgularının Azərbaycan EES 220-500 kV gərginlikli ayr-ayrı hissələrində optimal yerləşdirilməsi aktiv güc itkilərinin  $4.37 \div 7.57$  MVt azalmasına və istismarının qənaətcilliyinə gətirə bilər.

15. SVÖ əsasında hava xətlərinin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi metodu və alqoritmi təklif edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, SVÖ-nin ölçmələri əsasında EHV ötürücü xəttinin vəziyyətinin xətti qiymətləndirilməsi alqoritmindən istifadə orta kvadratik xətanın əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb olur.

16. Vəziyyətin qiymətləndirilməsi məsələsini təkrarlanmayan üsulla həll etməyə imkan verən üsul işlənib hazırlanmışdır.

**Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıda göstərilmiş məqalələrdə dərc olunmuşdur:**

1. Баламетов, А.Б., Мусаханова, Г.С., Халилов, Э.Д. Исследование решения задачи оптимизации режимов электрических сетей по напряжению и реактивной мощности методом последовательной линеаризации и линейного программирования // – Москва: - Электричество, - 2003. №3, -с. 17-26.

2. Баламетов, А.Б., Мусаханова, Г.С., Халилов, Э.Д. Об оптимизации режимов электрических сетей на основе метода аппроксимирующего программирования с учетом дискретности регулируемых переменных // Международная научно-техническая конференция Передача энергии переменным током на дальние и сверхдальние расстояния. - Новосибирск: - 15-19 сентября, -2003, - с. 96-102.

3. Баламетов, А.Б., Набиев, Х.И., Халилов, Э.Д. О состоянии измерительных комплексов учета электроэнергии // - Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - 2005. № 2, - с.131-138.

4. Баламетов, А.Б., Мусаханова, Г.С., Халилов, Э.Д. Проблема моделирования распределения потоков электрической энергии в сети (статья Паздерина А.В. «Электричество», 2004, №10) // – Москва: Электричество, -2006. №3, - с. 60-66.

5. Balametov, Ə.B., Xəlilov, E.D., İsayeva, T.M. Elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinin pisləşməsində tələbatçının buraxıla bilən payının hesablanması metodikası // – Bakı: Energetikanın Problemləri, «ELM», – 2007. № 2, – s. 24 – 32.

6. Баламетов, А.Б. Экспериментальные исследования влияния резкопеременной нелинейной нагрузки на качество электроэнергии на высоковольтной подстанции / А.Б. Баламетов, Э.Д. Халилов, Т.М. Исаева [и др.] // Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - Баку: - 2007. № 4, - с. 130-138.

7. Баламетов, А.Б. Об оценке потерь энергии при вероятностном представлении графиков электрических нагрузок / А.Б. Баламетов, Х.Т. Алиев, Э.Д. Халилов [и др.] // -Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - 2007, №1, - с. 27-35.

8. Баламетов, А.Б. Методика оценки потерь электроэнергии в распределительных сетях имитационным моделированием графиков нагрузки / А.Б., Баламетов, Э.Д. Халилов, С.Г. Мамедов [и др.] // Проблемы энергетики -Баку: - 2008. № 1, - с. 28-35.

9. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д., Исаева, Т.М. Экспериментальные исследования влияния резкопеременной нагрузки на качество электроэнергии на высоковольтной

подстанции // - Москва: Промышленная Энергетика, - 2008. № 5, -с. 50-53.

10. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д., Мамедов С.Г., Исаева, Т.М. О влиянии резкопеременной нелинейной нагрузки на качество электроэнергии // Десятая Российская научно-техническая конференция «Электромагнитная совместимость технических средств и электромагнитная безопасность», - Санкт-Петербург: -2008 г., - с. 154-157.

11. Халилов, Э.Д. О результатах применения искусственной нейронной сети для расчетов установившихся режимов электрических сетей // -Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», – 2008. №2–3, – с. 48–54.

12. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д. О применении нейронной сети Хопфильда для экономического распределения нагрузки между электрическими станциями // III Международная научно-практическая конференция «Роль научной инновации в развитии экономики страны», - Баку: - 2009, с. 101-106.

13. Халилов, Э.Д. О применении нейронной сети Хопфильда для решения задачи оптимального распределения активной мощности // -Баку: Проблемы энергетики, – 2009. № 2, - с. 50-57.

14. Баламетов, А.Б. О результатах измерения текущих параметров режима воздушной линии «2-я Апшеронская» / А.Б.Баламетов, Э.Д.Халилов, Х.И.Набиев [и др.] // Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - Баку: - 2009. № 2, - с. 23-31.

15. Баламетов, А.Б., Мусаханова, Г.С., Халилов, Э.Д. Методы анализа установившихся режимов электроэнергетических систем / А.Б. Баламетов, Г.С. Мусаханова, Э.Д. Халилов. – Абакан: Изд-во Хакасского Государственного Университета им. Н.Ф. Катанова, - 2009. - 340 с.

16. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. Ахундов, И.Ш. Автоматизированный поиск решения уравнений установившихся режимов электрических систем // – Москва: Электричество, - 2009. №8, -с. 17-26.

17. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. О применении нейронных сетей при расчетах установившихся режимов электрических

сетей // - Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», – 2009. № 1, – с. 1-10.

18. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д., Ильясов, О.В. Об измерении потерь активной мощности по текущим параметрам режима на концах ВЛ СВН // – Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - 2009, № 3, -с. 50-57.

19. Баламетов, А.Б. Вопросы снижения потерь электроэнергии в электрических сетях / А.Б. Баламетов, Э.Д. Халилов, С.Г Мамедов [и др.] // - Баку: Научный сборник трудов, «ЭЛМ», - 2010. - с. 78-88.

20. Баламетов, А.Б. Имитационное моделирование графиков нагрузки для расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях / А.Б. Баламетов, Э.Д.Халилов, Х.Т Алиев [и др.] // НАН Украины, “Электронное Моделирование”, - Киев: -2010. №5, -с. 77-91.

21. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. Применение гибких передающих систем переменного тока как эффективный способ решения проблем в ЭЭС // -Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - 2010. № 4, - с. 20-28.

22. Halilov, E.D. Using artificial neural networks for solving power flow problem // 6th International Conference on “Technical and Physical Problems of Power Engineering”-Bilbao: - 2010.

23. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. О прослеживании путей передачи мощностей в энергосистемах // -Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - 2011. №4, -с. 10-17.

24. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Баламетов Э.А., Исаева Т.М. Вклад нелинейного потребителя в ухудшение показателей качества электроэнергии // V Международная научная конференция "Научный потенциал XXI века" СевКавГТУ. Ставрополь, - 2011, том первый, - с. 129-132.

25. Баламетов, А.Б. Методика расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях имитационным моделированием графиков нагрузки / А.Б. Баламетов, С.Г. Мамедов, Х.Т. Алиев [и др.] // – Москва: Электричество, - 2011. №8, - с. 15 - 22.

26. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д., Исаева, Т.М. Экспериментальные исследования высших гармоник в

Электрической цепи с компьютерным оборудованием // - Баку: Научные труды Национальной Авиационной Академии, - 2011. № 1, - с. 80-90.

27. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. О распределении потерь Z-узловым методом // - Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - 2011. № 2, - с. 30-38.

28. Халилов, Э.Д. Маргинальный метод разделения потерь мощности и энергии между участниками рынка электроэнергетики // - Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», 2011. №3, - с. 48-54.

29. Халилов, Э.Д. Об адресном распределении передаваемых электрических мощностей в энергосистемах. // -Баку: Вести Азербайджанской Национальной Академии Наук. Серия Наук и Инноваций, - 2011. N4(8), - с. 39-43.

30. Halilov, E.D. Prediction of power losses in electric networks using simulation and artificial neural networks // 7th International Conference on “Technical and Physical Problems of Power Engineering”, - Northern Cyprus: - 2011, - p. 177-180.

31. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. Прогнозирование потерь мощности электроэнергетических систем для анализа и управления // International conference “Energy of Moldova” – 2012. Regional aspects of development” – Chisinau: - October 4-6, 2012, pp. 92-99.

32. Balametov, A.B., Halilov, E.D. About application of artificial intelligence’s methods for estimation of power losses in distributive electric networks // The 2<sup>nd</sup> world conference on Soft Computing, – Baku: -2012, -p. 448-453.

33. Халилов, Э.Д. Об адресном распределении реактивных мощностей. // -Баку: Сборник научных трудов Азербайджанской Научно-Исследовательского и Проектно-изыскательского Института Энергетики, - 2012. - с.137-148

34. Халилов, Э.Д. Об идентификации циркулирующих потоков мощности в электрической сети. // - Баку: Проблемы Энергетики, Элм, - 2012. №3, - с. 20-25

35. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. Об оценке влияния распределенной генерации на потери электроэнергии в Азербайджанской электроэнергетической системе // - Баку: 84



заседание международного научного семинара «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики», - 17-21 сентября, - 2012. Вып. 63. – с. 98-107.

36. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. Моделирование устройств FACTS при расчетах установившихся режимов электрических сетей // - Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - 2012. № 4, -с. 9-18

37. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д., Искендеров, Ф.Г. О применении устройств FACTS для снижения неоднородности, повышения пропускной способности и экономичности эксплуатации энергосистемы // - Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - 2013. № 3, - с. 9-18

38. Баламетов, А.Б. Халилов, Э.Д. Об использовании обобщенных показателей чувствительности для размещения устройств FACTS в энергосистемах // - Баку: Проблемы энергетики, «ЭЛМ», - 2013. №4, - с. 18-27.

39. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. О программе расчета потерь электроэнергии в радиальных электрических сетях // - Тверь: Международный журнал “Программные продукты и системы”, - 2013, №2 (102), – с. 220-225.

40. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. Методы прогнозирования потерь мощности электроэнергетических систем для анализа и управления // - Москва: Электричество, - 2013. № 7. -с. 19-29.

41. Balametov, Ə.B., Xəlilov, E.D., Çugunova İ.A. Azərbaycan elektroenergetika sisteminin elektrik şəbəkələrində elektrik itkilərinin azaldılmasının ehtiyatlarının təhlili // «Azərenerji» Açıq Səhmdar Cəmiyyəti “Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu” Məhdud Məsuliyyətli Cəmiyyəti Elmi əsərləri toplusu, – Bakı: – 2014. - s. 108-127.

42. Balametov, A.B., Halilov, E.D. About Increase of Azerbaijan Power System Efficiency with Facts Devices // Transaction on electrical and electronic circuits and system, -2014. vol. 4(10), -p. 50-58.

43. Balametov, Ə.B., Xəlilov, E.D. Enerji sistemin elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisi itkilərinin hesablanması, təhlili və normalaşdırılması / – Bakı: “Elm”, – 2015.

44. Balametov, A.B., Halilov, E.D., Bayramov M.P. Modelling of active power losses in airlines considering regime and atmospheric factors // 11th International Conference on “Technical and Physical Problems of Electrical Engineering”, - Bucharest: - 2015, - p. 58-62

45. Balametov, A.B., Halilov, E.D., Isayeva, T.M. Simulation of statcom for voltage quality improvement in power system / International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering”, Iss. 22, vol. 7, no. 1, - 2015, - p. 52-57.

46. Balametov, A.B., Halilov, E.D., Isaeva, T.M. Increase of efficiency of Electropower system by Application of high-speed Static VAR Compensator // - Baku: International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” – 2015. Issue 22, Volume 7, Number 1, - p. 52-56.

47. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д., Исаева, Т.М. Повышение точности моделирования режима линии электропередачи на основе текущих параметров // - Киев: Электронное моделирование, - 2016. № 2, Т. 38. - с.67-81.

48. Баламетов, А.Б. Об адресном распределении мощностей в электрических сетях / А.Б. Баламетов, Э.Д. Халилов, Т.М Исаева [и др.] // - Тверь: Программные продукты и системы Software & Systems, - 2016. № 1, (113), - с 126-134.

49. Халилов, Э.Д. Моделирование узловых цен на электроэнергию / Программные продукты и системы // Software & Systems, - 2017. № 2 (30), – с. 333-337.

50. Халилов, Э.Д. О моделировании режимов электроэнергетических систем с устройствами FACTS // - Москва: Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ, - 2017. Т. 60. № 4, – с. 341–351.

51. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д., Исаева Т.М. Выбор математической модели воздушной линии при моделировании режима по синхронизированным векторным измерениям // - Москва: Электричество, «Национальный исследовательский университет «МЭИ», – 2017. №3, - с. 20-28

52. Баламетов А.Б., Кононов Ю.Г., Халилов Э.Д. Афанасьев В.В., Костюков К.А. О технических аспектах подготовки к параллельной работе энергосистем России, Закавказья, Ирана и

Турции // Международный научный семинар им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики». 90-е заседание «Надежность развивающихся систем энергетики». – Иркутск: -2018 г., - с. 86-96.

53. Balametov, Ə.B., Xəlilov, E.D., Səlimova, A.K. Elektrik enerjisi bazarında düyünlərdə elektrik enerjisinin qiymətlərinin modelləşdirilməsində optimallaşdırma əsaslı yanaşma // – Bakı: AMEA İqtisadiyyat İnstitutu «Elmi əsərlər», - 2018. №4, - s. 17-22.

54. Баламетов, А.Б. Программа моделирования температуры провода и потерь мощности на основе учета режимных и атмосферных факторов / А.Б. Баламетов, Э.Д. Халилов, М.П. Байрамов [и др.] // - Тверь: Международный научно-практический журнал «Программные продукты и системы», - Software & Systems, - 2018. №2, Том 31, - с. 396-401.

55. Халилов, Э.Д. О моделировании режимов ЭЭС с гибкими ЛЭП // - Москва: «Электрооборудование: эксплуатация и ремонт», - 2018. № 5 (168) май, – с. 71–77.

56. Balametov, A.B., Khalilov, E.D., Isaeva, T.M., Modeling the EHV Transmission-Line Mode in Light of Actual Corona Losses // - Москва: Russian Electrical Engineering, Allerton Press -2018, Vol. 89, No. 2, - p. 127–132.

57. Balametov, A.B., Halilov, E.D., Isaeva, T.M. Extra high voltage transmission line operation simulation using the actual corona-loss characteristics // Turkish journal of electrical engineering & computer sciences -2018. -p. 479-488.

58. Balametov, A.B., Halilov, E.D., Isaeva, T.M. Mathematical Model of Overhead Line for Mode Control Based on the Vector Measurements // IFAC, -Baku: -2018, – p. 468–472

59. Balametov, Ə.B. Enerji sisteminin düyünlərində elektrik enerjisinin qiymətlərinin hesablanması iki mərhələli modeli / Balametov, Ə.B., Xəlilov, E.D., İslamov, İ.Z. [və b.] // “Elmi xəbərlər” – Təbiət və texnika elmləri bölməsi, -Sumqayıt: – 2019. Cild 19 №1, – s. 70-76.

60. Баламетов, А.Б., Халилов, Э.Д. Применение комбинированных уравнений установившегося режима и

теплового баланса для моделирования режимов электрических сетей // - Баку: Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, - 2019. Том 11. №2, - с. 93-103.

61. Баламетов, А.Б. Оперативное моделирование температуры провода для максимального использования пропускной способности воздушных линий / А.Б. Баламетов, Э.Д. Халилов, М.П. Байрамов [и др.] // – Москва: Оперативное управление в электроэнергетике, - 2019. №1, - с. 16-24.

62. Balametov, A.B., Halilov, E.D. Power system steady state with considering the transmission line thermal balance equations // International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering”, Iss. 39, vol. 11, no. 2, Jun. 2019.

63. Баламетов, А.Б. Методы моделирования узловых цен на электроэнергию / А.Б. Баламетов, Э.Д. Халилов, А.К. Салимова [и др.] // - Баку: Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, - апрель – июнь 2020. Том 12. № 2, -с. 74-82.

64. Balametov, Ə.B., Xəlilov, E.D. Elektroenergetika sistemlərində güc axınlarının ünvanlılığı /– Bakı: “Elm”, – 2020. – 320 s

65. Balametov, A.B., Halilov, E.D., Isayeva, T.M. An Adequate Mathematical Model of an Ultrahigh-Voltage Overhead Transmission Line Using Synchronized Phasor Measurements // Iran J Sci Technol Trans Electr Eng - 2020. p.175–183.

66. Balametov, A.B., Halilov, E.D., Isayeva, T.M. Non-Iterative estimation of the AC overhead line state by relinearization method // E3S Web of conferences, -2020.

67. Balametov, A.B., Halilov, E.D. Simulation of Electric Networks Modes Using Steady-State and Heat Balance Equations // - Minsk: Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations, - 2020: 63(1):66-80. (In Russ.)

68. Balametov, A.B., Halilov, E.D., Salimova, A.K. Algorithm and matlab based program for modeling the nodal electricity prices // - Baku: International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering”, iss. 42, vol. 12, no. 1, -2020, - p. 20-24.

69. Баламетов, А.Б. Оценивание состояния воздушной линии переменного тока методом релinearизации / А.Б. Баламетов.,

Э.Д. Халилов, А.К.Салимова, [и др.] // Электричество, «Национальный исследовательский университет «МЭИ», - Москва: - 2021. - № 4. - с. 17-24.

Çap edilmiş işlərdə iddiaçının şəxsi töhfəsi. [11, 13, 22, 28, 29, 30, 33, 34, 49, 50, 55] sayılı işlər müəllif tərəfindən müstəqil surətdə yerinə yetirilmişdir. [3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 38, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59] sayılı əsərlərdə məsələnin qoyuluşu, təcrübi tədqiqatların aparılması, nəticələrin təhlili, elmi müddəaların formalaşdırılması müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir. Qalan hissələr müəlliflər tərəfindən bərabər səviyyədə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 15 dekabr 2023-ci il tarixində saat 16<sup>00</sup> Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəalliyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1073, Bakı şəhəri,H.Cavid prospekti 25.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi [www.aztu.edu.az](http://www.aztu.edu.az) saytında yerləşdirilmişdir. Avtoreferat " 14 " noyabr 2023-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb:

Kağızın formatı: A5

Həcm: 73240

Tiraj: 100