

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН УЛУТТУК ИЛИМДЕР  
АКАДЕМИЯСЫНЫН АВТОМАТИКА ЖАНА МААЛЫМАТТАР  
ТЕХНОЛОГИЯСЫ ИНСТИТУТУ

Б.Н.ЕЛЬЦИН атындагы КЫРГЫЗ – ОРУС СЛАВЯН УНИВЕРСИТЕТИ

**Диссертациялык кеңеш Д.05.16.532**

Кол жазма укугунда

УДК.: 51-7:621.311+621.3.013.8(043.3)

**ДЖУНУЕВ ТИМУР ТИЛЕГЕНОВИЧ**

**ЭЛЕКТР- ЭНЕРГЕТИКА СИСТЕМАСЫНЫН ЭЛЕМЕНТТЕРИНИН  
ТУРУКТУУЛУГУН МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛДӨӨ ЖАНА  
ИЗИЛДӨӨ**

Адистиги 05.13.18 – Математикалык моделдөө, сандык эсептөөлөр жана программалар комплекси жана 05.14.02 – Электр чордондору жана электр-энергетикалык системалар

Техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алууга жазылган диссертациянын

**АВТОРЕФЕРАТЫ**

2018

**Илимий иш И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинде аткарылды**

**Илимий жетекчиси:** Техника илимдеринин доктору,  
профессор  
**Джунуев Телеген**  
(КМТУ ат.И. Раззакова)

**Расмий оппоненттер:** техника илимдеринин доктору, профессор  
**Чемборисова Наиля Шавкатовна**  
(МЭИ)

техника илимдеринин доктору  
**Укуев Бейшенбек Такырбашевич**  
(Н. Исанов ат. КМКТЖАУ)

**Жетектөөчү уюм:** М. Адышев ат. Ош технологиялык  
университети  
723503, Ош ш., Исанова к., 81а.

Диссертация 2018 жылдын «25» майында саат 14:00 Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Автоматика жана маалыматтык технологиялар институтунун жана Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Орус Славян университетинин алдындагы **Д.05.16.532** диссертациялык кеңешинин отурумунда жакталат. Дареги:720071, Бишкек ш., Чүй проспекти, 265, ауд. 118

Диссертация менен Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын китепканасында жана [www.iait.kg](http://www.iait.kg) сайтында таанышса болот.  
E-mail: [gulsaat@mail.ru](mailto:gulsaat@mail.ru)

Автореферат таркатылды\_\_\_\_\_

Диссертациялык кеңештин  
Окумуштуу катчысы к.ф-м.н.

Керимкулова Г.К.

## ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

**Диссертациянын темасынын актуалдуулугу.** Электроэнергетика системасын (ЭЭС) долбоорлоодо, режимдерди тандоодо жана ыкчам киргизүүдө, тутумдук автоматика түзүлүштөрүн эксплуатациялоодо чыгарылуучу, ЭЭСте өтмө процесстердин пайда болуусунда туруктуулук суроолорун изилдөө негизги маселелердин бири болуп эсептелет.

ЭЭСтеги туруктуулуктун бузулушун талдоо алардын дээрлик көп бөлүгүлөрдүн дээрлик көп бөлүгү режимди туура берүүнүн же тутумдук автоматиканы долбоорлоо жана жөндөө этабында туруктуулукту тагыраак эсептөөнүн эсебинен алдын алууга болоорун көрсөтөт.

Буга байланыштуу ЭЭСтин негизги элементтерин математикалык моделдөө суроолору, дифференциалдык теңдемелер системасын сандык интегралдоо ыкмаларын негиздеп талдооөтүү процесстеринин эсептөө алгоритмдерин жана программаларын иштеп чыгуу биринчи орунга чыгат жана маанилүү актуалдуу маселе болуп эсептелет.

ЭЭСте жана бир режимден экинчи режимге өтүүчү процесстерге келтирүү көптөгөн түрдүү козгоогуч факторлордон асинхрондук режим эсептелет.

Синхрондук машиналардын асинхрондук режимдеринин жалпы теориясы илимий булактарда көп жолу каралган. Бирок, синхрондук генератор өнүктүргөн момент асинхрондук режимде анча чоң эместиги жөнүндө ой пикир бул суроодо асинхрондук режимдеги өзүн алып жүрүү жөнүндөгү көп маселелер чечилбей, ачык түшүндүрүлгөн эмес.

Бул жыйынтык полюсу айкын сыяктуу эле, полюсу айкын эместерге да таралып кабылданган, себеби бардык синхрондук генераторлор үчүн асинхрондук режим орун албайт деп эсептелип келген. Дүүлүгүүсүн жоготкон генератор асинхрондук режимде активдүү кубаттуулукту номиналдыкка жакын 2-5% жылмышууларда гана берет деп эсептелинет. Мындай жылмышууларда ротордо нормалдуу жоготуулардан бир канча эле көп жоготуулар болот, ошондуктан мындай режим машиналар үчүн кооптуу деп саналат. Практикалык жактан бул дүүлүгүү жоголгон учурда токтоосуз синхрондук генераторлорду тармактан өчүрүп, мындай максатка атайын коргогучтарды, блокираторлорду ж.б.у.с орнотуу зарыл дегенди билдирет. Мисалы, талааны өчүрүүчү автоматты кокусунан өчүрүп алган учурда, дароо генераторду өчүрүү командасы берилет, дүүлүгүүнүн жоголуусунун бардык башка себептеринде генераторду токтоосуз өчүрүү талап кылынат.

Турбогенераторлорду ЦНИЭЛ Мосэнергодо өткөн кылымдын 50-жылдарында кубаттуулугу 50 МВт чейинки 50 жакын машиналарда жүргүзүлгөн эксперименттик жактан изилдөөлөр турбогенераторлордун асинхрондук режимдеги жүрүшү жөнүндөгү болгон болжолдорунун туура эместигин толугу менен тастыктады жана көпчүлүк турбогенераторлор анча чоң эмес пайыздын онго жакын үлүшүндөгү жылмышууларда, ротордогу жоготуулар нормалдуу жоготуулардан ашпаган учурда, ошондуктан

машиналар үчүн эч кандай кооптуулук туулбайт, олуттуу асинхрондуу моментти пайда кылуулары мүмкүн экендигин көрсөттү.

Асинхрондук режимдин болушун карап жаткан учурда дүүлүгүү жоголгондо системадан реактивдүү кубаттуулукту кошумча керектөө мүмкүндүгү тууралуу маселе абдан маанилүү. Кошумча реактивдүү кубаттуулукту камсыздоонун мүмкүн эместиги (биринчиси- машинаны бузуп алуу коркунучу) дүүлүгүүсүн жоготкон генератордун жумушунда аны сактоо мүмкүндүгүнө каршы экинчи далил катары чыгат. Мында бул кошумча реактивдүү кубаттуулукту башка генераторлордун дүүлүгүүсүн көбөйтүүнүн эсебинен жабуу тууралуу маселе каралбайт. Бул мүмкүндүк чоң тез аракеттенүүсү менен дүүлүгүүнүн автоматтык регуляторун – жөндөгүчтүн ишке киргизүүнүн эсебинен пайда болот. Ошондуктан бул көрсөтүлгөн каршы келүүлөр да орунсуз болуп калат.

Дүүлүгүүсүз генераторлордун иштешинин мүмкүндүгү керектөөчүлөрдү электр энергиясы менен камсыздоонун ишенимдүүлүгүн арттырат жана авариялардын болушун төмөндөтөт, себеби генератордун сакталышына кооптуулукту туудурган себепсиз эле дүүлүгүү жоголгондо, аны асинхрондук режимде жумушунда калтырууга болот.

Эгерде сөз, качан бир эле генераторду өчүрүү энергия системасынын режимине олуттуу таасирин тийгизген, кубаттуулугу чектелген ЭЭС жөнүндө болсо, анда ушул маселе актуалдуу боло баштайт.

Мисалы, кайрадан оңдоп түзөлгөн Бишкек (Жылуулук энергия борбору) ЖЭБ-унда ар бир 150 МВт болгон эки блок киргизилди жана кышында Бишкек энергия түйүндөрүнүн кубаттуулуктарынын күчү 400-500 МВт экендигин эске алсак, анда бир эле блоктун өчүрүү 20-25% энергия дефицитине алып келет. Бул абдан сезимдүү жана автоматиканын иштешине алып келет да, АЧР (апат өзгөчө кырдаал режими) тепкичтери иштей баштайт. ЖЭБ-нун технологиялык бөлүгүндө, генераторду тармакка кошууда блоктун кийинки тескери айланышы менен блоктун жүктөн арылышы (муздашы ж.б.у.с.) башталат. Жогоруда көрсөтүлгөндөрдүн бардыгы системалык аварияга алып келиши мүмкүн, б.а. энергия системасы ар кандай жыштыктагы эки бөлүккө (б.а. эки жыштыктагы режим деп аталган) бөлүнөт. Мына ушундай көрүнүштөр Кыргыз энергия системасында болгон.

СССР-дин убагында бул маселеге жетишээрлик көңүл бурулган эмес, себеби ОЭС-ында кубаттуулуктун резерви жетиштүү болучу жана асинхрондук режимде чордондун бир генераторун өчүрүү ЭС-нын бүтүндөй иштөө режимине таасир тийгизген эмес.

Асинхрондук режимде иштөө учурунда дүүлүгүүнүн жоголушунун себебин табууга жана аны өзүнүн же резервдеги дүүлүгүүнүн жардамы менен түзөтүүгө мүмкүндүк болот. Жок дегенде, эгерде дүүлүгүү генераторду токтотуу менен түзөтүлбөсө, режимдик шарттар буга жол берсе оордук күчтүү башка генераторго которуу керек. Синхрондуу генератордун асинхрондук режимде бир аз убакыт эле иштеши резервдеги дүүлүгүүгө өтүүнү бир канча эсе жеңилдетет.

Жүргүзүлгөн анализден дүүлүгүү жоголгон учурда асинхрондук режимдин параметрлерин так эсептөөнүн жаңы ыкмасын иштеп чыгуу

зарылдыгы илимий-өндүрүштүк мааниге ээ жана актуалдуу маселе болуп саналат.

**Иштин максаты.** ЭЭС-нын функционалдуу режимдеринин эффективдүүлүгүн (ишенимдүүлүгүн) штаттан сырткары режимдерде математикалык моделдөөнүн заманбап технологияларын жана так эксплуатациялык параметрлерди эсептөөнүн жаңы методдорун колдонуу менен жогорулатуу.

Изилдөөлөрдүн маселелери:

1. Кыргыз энергия системасынын заманбап абалынын жана иштин асинхрондук режимдерин изилдөөнүн болгон ыкмаларынын анализи.
2. ЭЭС-нын негизги түзүлүштөрүнүн анын асинхрондук режимдерде иштөө учурундагы математикалык моделдерин иштеп чыгуу жана негиздөө.
3. Агрегаттын математикалык моделин иштеп чыгуу: турбина – дүүлүгүү жоголгондо синхрондук генератор асинхрондук режимде иштегенде.
4. Дүүлүгүү жоголгондо асинхрондук режимди эсептөөнүн ыкмасын иштеп чыгуу.
5. Эсептөөнүн жыйынтыктарынын анализи жана асинхрондук режимде дүүлүгүү жоголгондогу эксплуатация шарттарында чечимдерди кабыл алуу боюнча сунуштамаларды иштеп чыгуу.

**Изилдөөлөрдүн методдору.** Диссертациялык иште ЭЭС-нын элементтерин математикалык моделдеринин жана эсептик эксперименттин заманбап технологиялары, ЭЭС өтмө процесстеринин электромагниттик жана электромеханикалык теориясы, электрдик машиналардын теориясы колдонулду. Изилдөөлөр Microsoft Excel жана Matlab чөйрөсүндө компьютердик моделдөөнү колдонуу менен жүргүзүлдү. Эсептөөнүн иштелип чыккан ыкмасынын адекваттуулугу асинхрондуу режимдин чыныгы осциллограммалары, эксплуатациялоого колдонулган генераторлордогу тажрыйбанын алынган жыйынтыктары менен салыштыруу аркылуу тастыкталды.

Жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн **илимий жаңылыгы** төмөндөгүлөрдөн турат:

1. Салыштырма бирдиктеги өз ара системасында толук дифференциалдык теңдемелер боюнча өтмөк процесстерди көрсөтүп жазган, режимдин чыгуу параметрлерин аныктоого мүмкүндүк түзгөн синхрондуу генератордун математикалык модели алынды;

2. Ротордун оролгон кабыгындагы магниттик талааны өчүрүүдө синхрондуу генератордун математикалык модели иштелип чыкты;

3. Дүүлүгүүнүн ачылган оромосу менен дүүлүгүү жоголгондо асинхрондук режимде синхрондуу генератордун математикалык модели иштелип чыкты;

4. Асинхрондук режимде синхрондуу генератордун математикалык модели дүүлүгүүнүн жабылган оромосу менен дүүлүгүү жоголгондо иштелип чыкты;

5. Агрегаттын: турбина – генератор асинхрондук режимде дүүлүгүү жоголгондо синхрондуу генератордун ресинхрондоштуруу шарттары үчүн режимдин параметрлерин аныктоого мүмкүндүк түзгөн математикалык модели алынды.

6. Биринчи жолу өтмө процесстерде режимдин параметрлерин так эсептөөгө мүмкүндүк түзгөн синхрондуу генератордун асинхрондук

режимин эсептөө ыкмасы дүүлүгүү жоголгондо толук дифференциалдык теңдемелер системасынын базасында иштелип чыкты.

**Коргоого** төмөнкү жоболор алынып чыкты:

1. Генератордун чынжырында магниттик талааны өчүрүүдө синхрондук генератордун математикалык модели.
2. Дүүлүгүү жоголгондо асинхрондук режимде синхрондуу генератордун математикалык модели.
3. Дүүлүгүү жоголгондо асинхрондук режимдин параметрлерин эсептөөнүн ыкмасы.
4. Дүүлүгүү жоголгондо синхрондуу генератордун асинхрондук режимде аткарылган эсептөөлөрдүн жыйынтыктары жана ушул берилген режимдерде эксплуатациялоонун шарттарында чечимдерди кабыл алуу боюнча сунуштамалар.

**Иштин практикалык баалуулугу** төмөндөгүдөй:

1. Дүүлүгүү жоголгондо асинхрондук режимде, анын негизинде синхрондуу генератордун режимдерин башкарууга мүмкүндүк берген синхрондуу генератордун динамикалык касиеттерин аныктоого боло турган режимдин параметрлери алынды.
2. Асинхрондук режимдин өтүшүнүн негизги өзгөчөлүктөрүн изилдөөгө мүмкүндүк берген дүүлүгүүсү жоголгондо синхрондуу генератордун математикалык модели иштелип чыкты.
3. Иштелип чыккан асинхрондук режимдердин эсептөөсүнүн ыкмасынын негизинде ротордун жана статордун активдүү жана индуктивдик каршылык контурларынын көрсөтүлгөн режимде синхрондуу генератордо өтмөк процесстин жүрүшүнө тийгизген таасири изилденди.
4. Машинаны тармак менен ийгиликтүү ресинхрондошуусу үчүн оптималдуу шарттар аныкталды: жылмышуунун өзгөрүү диапозону, генератордун роторунун валында асинхрондук токтотуучу моменттин өсүшү, турбинанын айландыруучу моментинин темпинин төмөндөшү жана у.с.
5. Асинхрондук режимде синхрондуу генератордун тармактан талап кылып алган реактивдүү кубаттуулугун жабуу үчүн башка генераторлорду 10-15% ашпагандай жүктөн бошотсо болоору айкындалды.

**Иштин жыйынтыктарын ишке ашыруу**

1. Дүүлүгүүсү жоголгондо асинхрондук режимдерди эсептөөнүн иштелип чыккан ыкмасы И. Раззаков атындагы КМТУ-нин «Электроэнергетика» кафедрасында окуу процессинде колдонулду.
2. Дүүлүгүүсү жоголгондо асинхрондук режимдерди эсептөөнүн иштелип чыккан ыкмасын колдонуу тууралуу актылар ЦДС «НЭСК» ААК-унан алынды.

Алынган жыйынтыктардын **негиздүүлүгү жана аныктыгы** эсептөөлөрдүн асинхрондук режимдин эксперименттик осциллограммалары менен канагаттандыраарлык жакындап жыйылышы менен, ошондой эле алынган жыйынтыктардын фундаменталдуу булактардын берилиштери менен дал келүүсү аркылуу негизделет.

**Автордун өздүк салымы** биригип жасалган илимий иштерде орточо көрсөтүлүп жазылган жыйынтыктардын толук көлөмүнүн 70-80% түзөт жана дүүлүгүүсү жоголгондо синхрондуу генераторлордун асинхрондук режимдеринин математикалык моделдерин жана эсептөөнүн алгоритмдерин түзүүдөн б.а. иштеп чыгуудан, режимдик параметрлерди эсептөөнү

жүргүзүүдөн жана анализдөөдөн, ошондой эле дүүлүгүүсү жоголгондо асинхрондук режимдердин эсептөөсүнүн ыкмасын иштеп чыгуудан турат.

**Иштин апробациясы.** Илимий иштин негизги жыйынтыктары:

- сегизинчи Эл аралык илимий техникалык конференцияда. Энергетика: энергия ресурстарын колдонууну башкаруу, сапаты жана эффективдүүлүгү:- Благовещенск; теориялык жана колдонмо илимий-техникалык конференция, 2015;

- “Энергетиканын чоң системаларынын ишенимдүүлүгүн изилдөөнүн методикалык маселелери” деген Эл аралык семинарда. РУА СБ-үнүн Энергетика системасы институту жана Кыргыз Республикасынын «Улуттук энергетикалык холдингдик компаниясы», Бишкек ш., 2017;

- «Энергетика: абалы, проблемалар, перспективалар» эл аралык илимий-техникалык конференцияда (Бишкек, 2017 ж.) окулду жана талкууланды.

**Публикациялар.** Аткарылган изилдөөлөрдүн жыйынтыктары боюнча 8 илимий иш жарыкка чыкты, анын ичинде 5 иш КР ЖАК сунуштаган басмаларда, 2 иш чет элдик басмаларда жана 1 автордун жеке өзүнүкү (ойлоп табууга күбөлүк 2014-ж.).

**Илимий иштин структурасы жана көлөмү.** Диссертациялык иш 145 баракка жазылып, кириш сөздөн, 4 бөлүмдөн, корутундудан, 102 эмгекти камтып, 11 баракка жазылган колдонулган булактардын тизмесинен жана 38 баракка жазылган 4 тиркемеден турат. Диссертацияда 37 сүрөт жана 2 таблица бар.

## **ИШТИН МАЗМУНУ**

**Кириш сөздө** диссертациянын актуалдуулугу жана жаңылыгы негизделип, иштин максаты ачылып жазылган, изилдөөнүн маселелери коюлган жана коргоого алынып чыккан жоболор көрсөтүлгөн. Диссертациянын темасынын апробациясынын деңгээли жана алынган жыйынтыктардын басмадан чыккан көлөмү чагылдырылган. Диссертациянын структурасы жана көлөмү боюнча маалыматтар берилген.

**Биринчи бөлүмдө** дүүлүгүүсү жоголгондо асинхрондук режимдер боюнча илимий булактардын сереби жүргүзүлүп келтирилген, алардын кыскача мүнөздөмөсү берилген. Азыркы кезде кубаттуулуктун дефицити менен иштеп жаткан жана режимдин параметрлеринин ар кандай өзгөрүшүнө сезимтал болгон Кыргыз Республикасынын энергия системаларынын заманбап абалы анализденген. Асинхрондук режимдин орун алышы барынан мурда жылмышуунун чоңдугу менен аныкталаары көрсөтүлгөн. Мында генератордун тез таасир этүүчү жүктөн арылышы (турбинанын моментинин азайышы) дүүлүгүү жоголгондон кийин жылмышууну азайтат, жана асинхрондук режимдин орун алышына мүмкүнчүлүк түзүлөт.

Асинхрондук режимдердин анализи көрсөткөндөй, мындай режимдерде пайда болгон өтмөк процесстерди режимдин бардык параметрлерин эсепке алууга мүмкүндүк түзгөн жана сандык интегралдоонун методдорун колдонууга негизделген Горев-Парктын толук дифференциалдык теңдемелерин колдонуунун негизинде эсептөө зарыл. Өтмөк процесстерди эсептөөнүн ыкмасын жаратуу үчүн генератордун өзүндөгүдөй эле, “турбина – генератор” системасында да сырткы тармак

менен өз ара байланышында өтмөк процесстердин ар кандай этаптары үчүн бул элементтердин математикалык моделдерин иштеп чыгуу зарылдыгы пайда болду:

- а) ротордун магниттик талаасын өчүрүү процесси;
- б) асинхрондук режимдин өзүнүн моделин иштеп чыгуу.

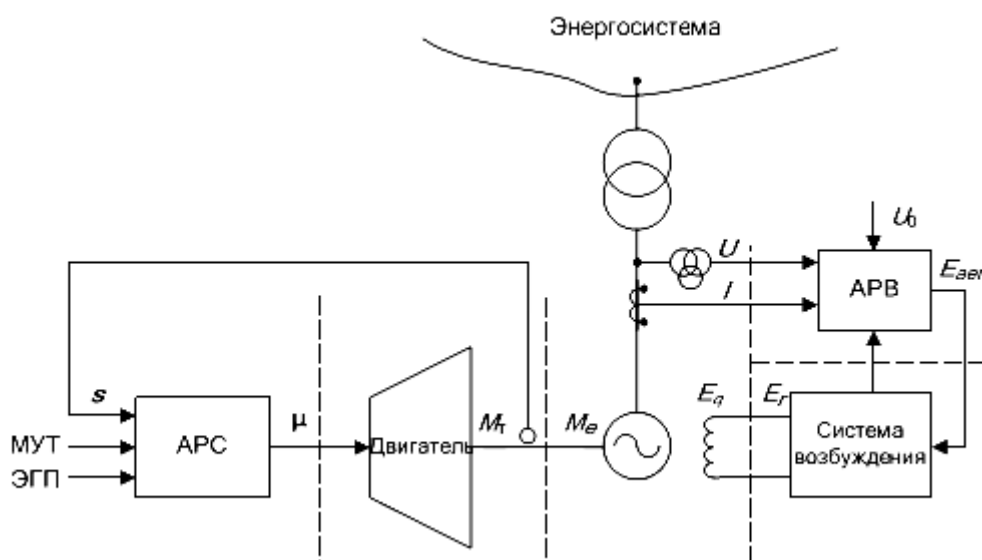
### Корутунду:

- Синхрондук генератордун асинхрондук режимде динамикалык касиеттерди көрсөтүп жазган негизги дифференциалдык теңдемелери алынды.

- Өз ара салыштырмалуу бирдик системасында синхрондук генератордун базалык математикалык модели иштелип чыкты жана жогоруда келтирилген өтмөк процесстердин этаптары үчүн аны ыңгайлаштыруу каралды.

**Экинчи бөлүмдө** баштапкы режимде жана синхрондоштуруу моментинде параметрлерди аныктоого жардам берген ротор менен катуу байланышкан –  $d, q$  координаттык системалары тандалды, ал эми өтмөк асинхрондук режимде синхрондук окторго карата эркин айланган  $d_s, q_s$  координаттар системасы колдонулат.

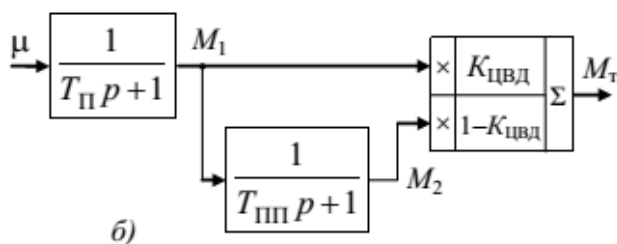
Генерациялоочу агрегат беш элементтен турган структура катары каралат: генератордон, дүүлүктүрүүчү системадан, дүүлүгүүнүн автоматтык жөндөөчүсүнөн (ДАЖ), баштапкы кыймылдаткычтан (турбинадан) жана ылдамдыктын автоматтык жөндөгүчүнөн (ЫАЖ) (1-сүрөт).



**1-сүрөт. Агрегаттын структуралык схемасы**

Биринчи турбинанын мисалында жетишээрлик даражадагы тактык менен чынжырлуу структуралык схеманын жардамы менен кайрадан жаралган жана төмөнкү теңдемелердин системасы (1) туура келген турбинанын валында буунун чыгымынын өзгөрүшү менен кубаттуулуктун жана моменттин өзгөрүү процесстеринин динамикасы каралды (2-сүрөт):



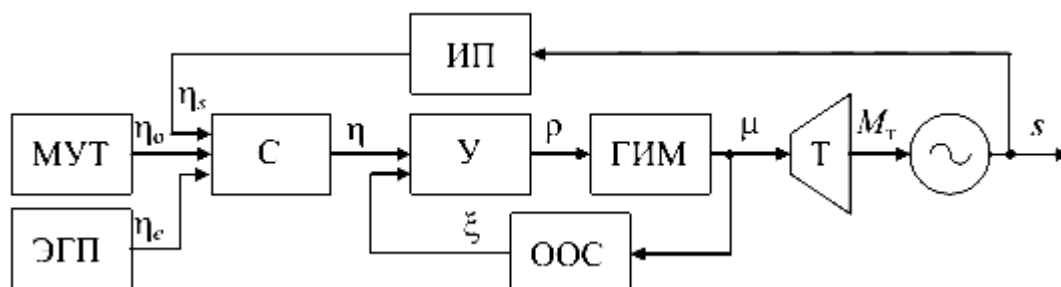


2-сүрөт. Турбинаны чынжырлуу структуралык схемасы

$$\frac{dM_1}{dt} = \frac{1}{T_\Pi} (\mu - M_1), \quad (1)$$

$$\frac{dM_2}{dt} = \frac{1}{T_{\Pi\Pi}} (M_1 - M_2),$$

Жөндөөнүн объектиси менен бирге (агрегат менен турбина-генератор) АРС пропорциялаш типтеги жыштыктын кыйшаюусу боюнча автоматтык жөндөөнүн жабык системасын (АЖС) түзөт (3-сүрөт):



3-сүрөт. АРС функционалдык схемасы

АРС функционалдык схемасында белгилөөлөр төмөндөгүдөй:

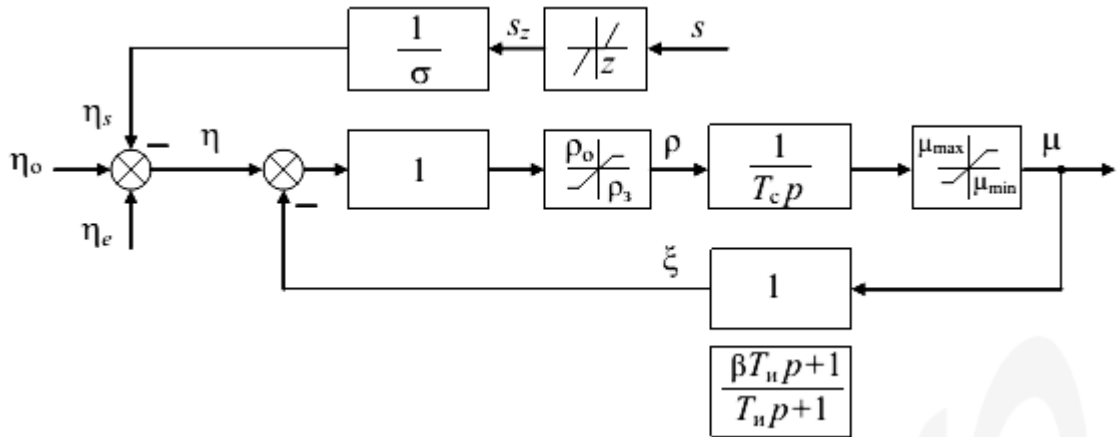
- ИП (ЧӨ) – ченөөчү өзгөрткүч же жыштыктын жантаюу датчиги;
- МУТ (ТБМ)– турбинаны башкаруу механизми, берүүчү элемент жыштык боюнча жөндөөчүнүн уставкасын өзгөртөт;
- ЭГП – турбинанын (буу турбиналары үчүн) кубаттуулугун тез арада өзгөртүү үчүн жөндөө системасына электр- гидравликалык приставкадан кирүү;
- С – салыштыруу элементи (сумматор);
- У – күчөткүч (өзгөрткүч, түзүүчү);
- ГИМ (ГАМ) – гидравликалык аткаруучу механизм (сервомотор);
- ООС (ТТБ) – жергиликтүү терс тескери байланыш (катуу, ийкемдүү, аралаш, өзү курчаган элементтердин параметрлерин стабилдештирет жана ондо түзөйт, ошондой эле элементтердин жана АЖСнын касиеттерин өзгөртөт);
- Т– буу, газ же гидравликалык турбина (жөндөө объекти);
- $\eta_s$  – ченөөчү өзгөрткүчтүн сигналы;
- $\eta_0$  – турбинаны башкаруу механизминин сигналы;
- $\eta_c$ – кубаттуулукту тезинен өзгөртүүнүн кошумча кирүүчү сигналы;

$\eta$ – башкаруу сигналы;

$\rho$ – күчөтүлгөн башкаруу сигналы;

$\mu$ – турбинанын жөндөөчү органынын салыштырмалуу которулушу.

Функционалдык схеманын негизинде буу жана гидравликалык турбиналардын АЖС структуралык схемасы түзүлдү (4-сүрөт).



4-сүрөт. АЖС-нын структуралык схемасы

Техникалык шарттар менен регламенттелген жана жөндөгүчтүн техникалык жактан кемтиксиздигин мүнөздөгөн жөндөгүчтөр  $z$  сезгичтиктин жоктугуна ээ (өлүк зона). Буу турбиналарынын  $z=0,15$  Гц жөндөгүчтүн сезгичтигинин жоктугу же 0,03%, гидротурбиналарынын  $z=30$  мГц же 0,06%. Батыш Европанын энергия кошундарында ылдамдыктын жөндөгүчтөрүнө чоң талаптар коюлат, турбиналардын жөндөгүчтөрүнүн сезгичтигин жоктугу 10 мГц же 0,02 % ашпаш керек.

Ротордун магниттик талаасын өчүрүүдө жана асинхрондук режимде пайда болгон өтмөк процесстер Горев – Парктын толук дифференциалдык теңдемелери менен жазылат:

$$\begin{aligned}
 -p\psi_d - \omega_s(1+s)\psi_q - ri_d &= u_d; \\
 \omega_s(1+s)\psi_d - p\psi_q - ri_q &= u_q; \\
 p\psi_f + r_f i_f &= u_f; \\
 p\psi_{kd} + r_{kd} i_{kd} &= 0; \\
 &\dots\dots\dots \\
 p\psi_{iq} + r_{iq} i_{ik} &= 0; \\
 &\dots\dots\dots \\
 J\omega_s p s + \frac{3}{2}(\psi_d i_q - \psi_q i_d) &= m_T,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

мында  $k = 1, 2, \dots, n$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

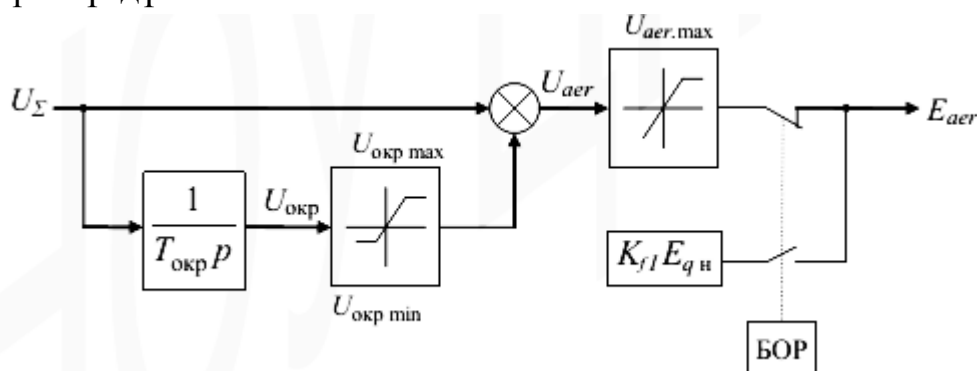
$s = \frac{\omega - \omega_s}{\omega_s}$  -  $\omega_s$  туруктуу бурчтук жыштык менен айланган, синхрондук

ылдамдыктан чоң оң ылдамдык менен айланууда синхрондук окко карата машинанын роторунун жылмышуусу;  $J$  – ротордун инерция моменти;

Статордук жана ротордук контурлардын агымды жабыштыруусу үчүн туюнтмалар төмөнкү түргө ээ:

$$\left. \begin{aligned} \psi_d &= L_d i_d + M_{ad} i_f + \sum_{k=1}^{k=n} M_{ad} i_{kd}; \\ \psi_q &= L_q i_q + \sum_{i=1}^{i=m} M_{aq} i_{id}; \\ \psi_f &= \frac{3}{2} M_{ad} i_d + L_f i_f + \sum_{k=1}^{k=n} M_{ad} i_{kd}; \\ \psi_{ld} &= \frac{3}{2} M_{ad} i_d + L_{ld} i_{ld} + M_{ad} i_f + \sum_{k=1}^{k=n} M_{ad} i_{kd}; \\ &\dots\dots\dots \\ \psi_{lq} &= \frac{3}{2} M_{aq} i_q + L_{lq} i_{lq} + \sum_{i=2}^{i=m} M_{aq} i_{iq}, \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Азыркы кезде кубаттуу синхрондук машиналар күчтүү таасирлүү АРВ менен жабдылган, ушул бөлүмдө күчтүү таасири бар жөндөгүчтү заманбап микропроцессор АРВ, АРВ-М тибинде каралган, анын структуралык схемасы 5-сүрөттө көрсөтүлдү.



**5-сүрөт. Күчтүү таасири бар АРВ-М тибиндеги дүүлүгүүнүн сандык жөндөгүчүнүн структуралык модели**

АРВ-М де күчтүү таасирлүү жөндөгүчтөр үчүн традициялык режимдик параметрлердин чектөө функциялары ишке ашырылган. Структуралык моделде ротордун тогу боюнча ашык жүктөөлөрдүн чектөөсү убакыт аркылуу кармалышы ашык жүктүн кайталанышынан көз карандылыгы менен, минималдуу дүүлүгүүнүн чектөөсү (МДЧ) менен эске алынган. МДЧ үч мүнөздөмө менен берилиши мүмкүн:  $U \leq 0,9$ ,  $U = 0,1$

болгондо жана  $U \geq 1,1$ . Ашыкча жүктөөнүн чектөөсүнүн жана минималдуу дүүлүгүүнүн мүнөздөмөлөрү бөлүктөй- сызыктуу функциялар менен аппроксимацияланат. Чектөө режими пайда болгон учурда генератордун чыңалуусу боюнча жөндөө каналынын ордуна чектөөчүнүн уставкасына карата чектелүүчү параметрдин пропорциялуу- интегралдык жөндөөсү ишке киришет. Калыптанган режимде чектөөчү параметр уставкага барабар. Чектөөчүнү иштен чыгаруу, качан чыңалуу каналынын чыгуусу чектөөчүнүн таасирине каршы четте таасирин көрсөтө баштаганда ишке ашырылат.

Дүүлүгүүнүн форсировкасы ( $U < 1$ ) генератордун чыңалуусу форсировканы киргизүү чыңалуусунан төмөн болгондо ишке кирише баштайт. Форсировка режиминде ротордун максималдуу тогу чектелет. Талааны өчүрүүдө (ТӨ) жөндөөчү каналдардын ордуна, чектөө жана форсировка өчүрүү каналынын жумушуна киришет, өчүрүү сигналынын амплитудасы талааны өчүрүү ыкмасы менен аныкталат.

Каралган структуралык схемада жана АРВ-М ишинин режимдеринде жөндөгүчтүн төмөндөгүдөй математикалык модели туура келет. Чыңалуу каналынын сигналы генератордун чыңалуусу берилген уставкадан айырмаланганда төмөнкү теңдеме менен берилет:

$$U_u = K_{OU} E_{qn} (U_0 (1 + \frac{\alpha}{100} s_U f_n) + I_p x_{mp} \frac{K_{mp}}{100} - U) \quad (4)$$

мында  $K_{OU}$ — чыңалуу каналынын берүү коэффициенти, е.в.н./е.н.с.,

$E_{qn}$ — дүүлүгүүнүн номиналдык ЭДС, е.н.с./е.в.н.,

$U_0$ — чыңалуунун уставкасы, е.н.с.,

$\alpha$ — чыңалуунун уставкасынын жыштыктан көз карандылыгын эсепке алган коэффициент, % 1 Гц номиналдык  $f_n$  тан жыштыктын жантаюусу,

$I_p$ — генератор тогунун реактивдүү түзүлүшү, н.о.е.,

$x_{tr}$ — номиналдык кубаттуулукка жана генератордун чыңалуусуна келтирилген трансформатордун каршылыгы, н.о.е.

### Корутунду:

- Электромагниттик өтмөк процесстерди синхрондук машинада асинхрондук режимдеги иштөөсүн дүүлүгүү жоголгондо көрсөтүп сүрөттөгөн дифференциалдык теңдемелер системасын сандык жактан интегралдоонун методу тандалды.

- Дүүлүгүү жоголгондо асинхрондук режимдин өтмөк процесстеринин бардык этаптарында синхрондук машинанын математикалык моделин түзүү үчүн негиз болгон синхрондук генератордун базалык универсалдуу модели иштелип чыкты.

**Үчүнчү бөлүм** синхрондук генератордун базалык математикалык моделин иштеп чыгууга арналган, анын негизинде иштелип чыкты: ротордун магниттик талаасын өчүрүүдө синхрондук генератордун математикалык модели, синхрондук генератордун асинхрондук режиминдеги математикалык модели, агрегаттын математикалык модели: турбина-синхрондук машина, асинхрондук режимде өтмөк процесстердин программасы жана эсептөө алгоритмдери. Биринчи жолу дүүлүгүү жоголгондо асинхрондук режимдердин эсептөө ыкмасы иштелип чыкты.

Дүүлүгүүнүн оромосу ачылган ( $i_f = 0$ ) учурда синхрондук генератордун асинхрондук режимдеги математикалык модели:

$$P \begin{bmatrix} i_d \\ 0 \\ i_q \\ i_{1q} \end{bmatrix} = -A \cdot \begin{bmatrix} U_d \\ -U_f \\ 0 \\ U_q \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \omega_s - A \cdot s \cdot A \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ 0 \\ i_q \\ i_{1q} \end{bmatrix} + A \cdot R \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ 0 \\ i_q \\ i_{1q} \end{bmatrix}; \quad (5)$$

(5)-системанын экинчи теңдемесинен ротордун шакекчелериндеги чыңалуу үчүн туюнтманы алууга болот:

$$U_f = \left[ \frac{A_{21}}{A_{22}} (U_d + (1+s)X_q i_q + (1+s)X_{aq} i_{1q} + R i_d) + \frac{A_{23}}{A_{22}} R_{1d} i_{1d} \right] \Delta t \quad (6)$$

б.а. интегралдоонун ар бир кадамында  $U_f$  (6) боюнча аныкталат.

Дүүлүгүүнүн жабык оромосунда ( $U_f=0$ ) синхрондук генератордун асинхрондук режиминдеги математикалык модели:

$$P \begin{bmatrix} i_d \\ i_f \\ i_q \\ i_{1q} \end{bmatrix} = -A \cdot \begin{bmatrix} U_d \\ -U_f \\ 0 \\ U_q \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \omega_s - A \cdot s \cdot A \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_f \\ i_q \\ i_{1q} \end{bmatrix} + A \cdot R \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_f \\ i_q \\ i_{1q} \end{bmatrix}; \quad (7)$$

Турбинанын математикалык модели (1) келтирилген.

Агрегаттын активдүү кубаттуулугун өзгөртүүгө команда берилгенде АРС уставкасы өзгөрүлөт. Агрегаттын кубаттуулугунун жаңы мааниси  $P$  калыпталган режимде номиналдык жыштыкта турбинанын төмөнкү мааниси туура келет:

$$M_T = \frac{P}{S_{HG} \cdot \kappa_{np}}, \quad (8)$$

мында  $\kappa_{np}$  - турбинанын моментин номиналдык шарттарга келтирүү коэффициенти.

Ротордун айлануу ылдамдыгынын өзгөрүшү (механиканын теңдемеси), мурда көрсөтүлгөндөй төмөндөгү түрдө аныкталат:

$$T_J PS = M_T - M_{\vartheta}, \quad (9)$$

мында  $T_J$  – агрегаттын инерциясынын турактуу чоңдугу [сек].

Ротордун валына таасир кылган электромагниттик момент, төмөнкүдөй аныкталат:

$$M_{\vartheta} = \Psi_d i_q - \Psi_q i_d. \quad (10)$$

Шарттуу ылдамдык

$$\omega = \omega_0 + (M_T - M_{\vartheta}) \frac{\omega_s}{T_J} dt. \quad (11)$$

Турбинанын АРС, машинанын айлануу жыштыгынын өзгөрүшүнө жараша жөндөөчү клапандарды жабат жана турбинанын айлануу жыштыгын азайта баштайт. АРС эске алуу менен ротордун кыймылынын теңдемеси золотниктин толугу менен ачык эмес терезелеринде төмөнкү түргө ээ:

$$M_T = M_{T0} + (M_{T0} - M_T) \frac{\beta}{T_c} t - M_{T.ном} \frac{s}{\delta_{н.р.} T_c} \Delta t. \quad (12)$$

Золотниктин толугу менен ачылган терезелеринде  $M_T = M_{T[0]}$  жана турбинанын моментинин өзгөрүшүнүн теңдемеси:

$$M_T = M_{T(0)} - M_{T_{\text{ном}}} \frac{\Delta t}{\mu_{x,x} T_c}. \quad (13)$$

Белгилүү болгондой, асинхрондук түрдө иштеп жаткан машинада дүүлүгүүнүн болушу жылмышуунун чоңдугу  $S_{\max}$  дан  $S_{\min}$  чейин пульсациясына алып келиши мүмкүн. Турбинанын АРС-нын жогорудагы келтирилген моделдөөнүн формулалары асинхрондук режимдин бардык учурларын чагылдырат.

Асинхрондук режим дүүлүгүүсүз өткөн учурда (биздин учурда дүүлүгүү жоголгондо) жылмышуунун пульсациясы жок болот. Ошондуктан турбинанын моментин турактуу деп кабыл алышат, же өзүнөн өзү теңдештирүү деп аталган коэффициенттин жардамы менен ылдамдыктын өзгөрүшүнө турбинанын реакциясын эске алышат. Мында турбинанын моментин төмөндөгүдөй жазса болот:

$$M_T = M_{T_0} - KS, \quad (14)$$

мында  $M_{T_0}$  - синхрондук ылдамдыктагы момент.

Акыркы туюнтма буу турбинасы сыяктуу эле гидравликалык турбиналарда жөндөөчү түзүлүштөрдүн (АЖС) өзгөрүүсүз абалында шартталган, момент ылдамдыктын өсүшү менен төмөндөйт. Моменттин мындай көз карандылыгы кошумча механикалык демпфирлөөгө алып келет жана асинхрондук моментке окшош ротордун термелүүсүнүн өчүшүнө өбөлгө түзөт.

$K$  коэффициентинин чоңдугу, кээде өзүнөн өзү теңделишинин коэффициенти деп аталган, машинанын тибинен жана жүктөөнүн чоңдугунан көз каранды. Номиналдык жүктөөдө аны бирге барабар, ал эми 0 дөн 0,5  $P_n$  чейин 0,5 барабар деп кабыл алуу сунушталат.

Синхрондук генератордогу асинхрондук режимде өтмөк процесстерди чагылдырган дифференциалдык теңдемелердин системасын сандык жактан интегралдоодо, мурда көрсөтүлгөндөй Рунге-Куттанын төртүнчү тартиптеги методу колдонулду.

Буга ылайык теңдемелер системасын айырма формасында жазабыз:

$$\begin{bmatrix} i_{d_{n+1}} - i_{d_n} \\ i_{f_{n+1}} - i_{f_n} \\ i_{1d_{n+1}} - i_{1d_n} \\ i_{q_{n+1}} - i_{q_n} \\ i_{1q_{n+1}} - i_{1q_n} \end{bmatrix} = -|A|^{-1} \cdot \begin{bmatrix} U_{d_n} \\ U_{f_n} \\ 0 \\ U_{q_n} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \Delta t + \left( |A|^{-1} \cdot |s| \cdot |A| \right) \cdot \begin{bmatrix} i_{d_n} \\ i_{f_n} \\ i_{1d_n} \\ i_{q_n} \\ i_{1q_n} \end{bmatrix} \cdot \Delta t + |A|^{-1} \cdot |R| \cdot \begin{bmatrix} i_{d_n} \\ i_{f_n} \\ i_{1d_n} \\ i_{q_n} \\ i_{1q_n} \end{bmatrix} \Delta t, \quad (15)$$

Режимдин бардык параметрлери «n» индекси менен мурдагы интегралдоонун кадамында аныкталган.

Синхрондук генератордун роторунун (салыштырмалуу) кыймылы (15) – туюнтмадан аныкталат (алтынчы теңдеме):

$$\omega_{n+1} = \omega_n + [(M_{T_{n+1}} - M_{T_n}) - (M_{\Theta_{n+1}} - M_{\Theta_n})] \frac{\Delta t}{T_J}. \quad (16)$$

Бул учурда жылмышуу  $S$  ти  $S_{n+1} = \frac{\omega_{n+1} - \omega_n}{\omega_n}$ , түрүндө жазууга болот,

мында  $\omega_n = \omega_s$  синхрондук ылдамдык катары кабыл алынды.

Дүүлүгүүнү жоготкон учурда асинхрондук режимди эсептөөнүн ыкмасы өз ара бирдик системасында синхрондук генератордун базалык математикалык моделинин негизинде иштелип чыкты. Базистик кубаттуулук

катары синхрондук генератордун номиналдык кубаттуулугу кабыл алынды, ал эми базистик чыңалуу катары – анын номиналдык чыңалуусу кабыл алынды.

Эсептөөнүн биринчи этабында ротордун магниттик талаасынын өчүү процесси каралат.

Жааны өчүрүү моментинде  $t = t_d$  болгондо ток  $i_f = 0$  ОВда болот, ушундан баштап генератордун асинхрондук режими башталат.

Эсептөөнүн экинчи этабы болуп синхрондук генератордун асинхрондук режиминде параметрлердин мүнөздөмөлөрүн аныктоо эсептелет. Дүүлүгүү жоготулган учурда, мурда көрсөтүлгөндөй (§ 3.1.3), эки режим болушу мүмкүн: ачылган ОВ асинхрондук режим, качан ОВ контурунда жана дүүлүктүргүчтө үзүлүш болсо жана жабык ОВда, мисалы, качан дүүлүгүүнүн оромосу дүүлүгүү чынжырында кыска үзүлүш учурунда кичине каршылыкка жабык болгондо асинхрондук режим, дүүлүгүү жоготулган учурда дүүлүктүргүчтүн якоруна жана талааны өчүрүүгө каршылыкка АГП өчүрүлгөн учурда.

Ачылган ОВ учурунда ОВдагы чыңалуу турактуу болбой тургандыгын белгилеп кетүү керек. Ошондуктан  $U_f$  чыңалуунун өзгөрүшүн аныктоо зарыл:

$$U_f = \frac{A_{21}}{A_{22}} (U_d + (1+S)X_q i_q + (1+S)X_{aq} i_{1q} + R i_d) + \frac{A_{23}}{A_{22}} R_{1d} i_{1d}, \quad (17)$$

б.а. интегралдоонун ар бир кадамында  $U_f$  чыңалуу берилген туюнтма боюнча аныкталат.

Жабылган, туюк ОВ учурунда  $U_f = 0$ , андан ары айырма формасындагы (15)-тендемелер системасы чыгарылат.

Эсептөөнүн процесси ротордун магниттик талаасын өчүрүүдөн баштап асинхрондук режимге чейин үзгүлтүксүз экендигин белгилеп кетүү керек.

### **Корутунду:**

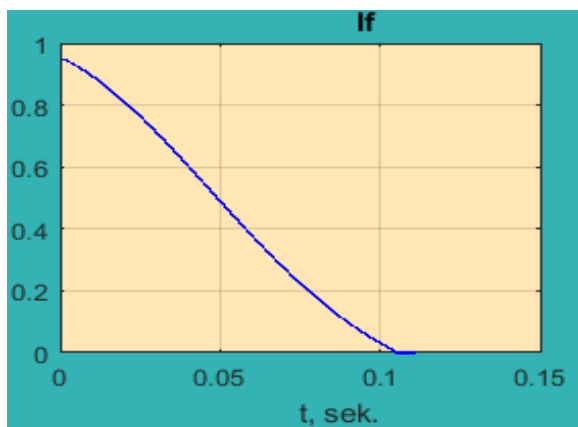
- Дүүлүгүүсүн жоготкон учурда ротордун магниттик талаасын өчүрүүдө синхрондук генератордун математикалык модели иштелип чыкты.

- Синхрондук генератордун асинхрондук режиминде дүүлүгүүнүн ачык жана жабык оромосунда математикалык модель иштелип чыкты. Асинхрондук режимде ротордун шакекчелериндеги чыңалууну аныктоо үчүн туюнтма алынды, бул моделди эсептөөлөрдө анын структурасын өзгөртпөй колдонууга жардам берет.

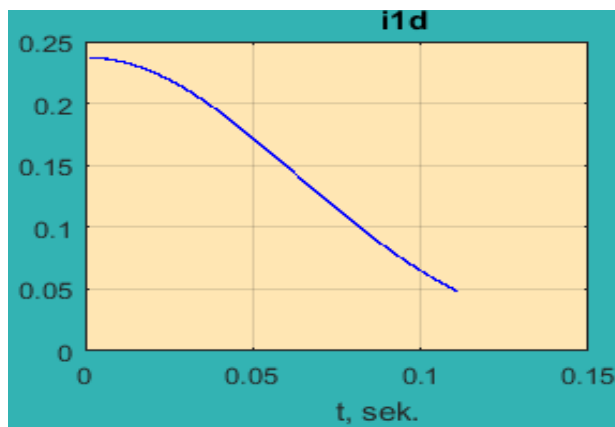
- Агрегаттын математикалык модели иштелип чыкты: турбина – синхрондук генератор, бул турбинаны ар кандай моделдер менен элестетүүгө жардам берет– чоң жылмышууларда такталган ( $2 \div 4\%$ ) жана жакындатылган – кичине жылмышууларда ( $0,02 \div 0,06\%$ ).

**Төртүнчү бөлүмдө** синхрондук генератордун ишинин режимдеринин математикалык моделдерин аналитикалык изилдөөлөрү жүргүзүлдү.

Мурда белгиленгендей (1- бөлүм), дүүлүгүүсү жоголгон учурда ротордун магниттик талаасын өчүрүү эки стадиядан турат: биринчиси – качан жааны өчүрүүчү тордо жаа күйүп турганда жана ирети менен, ротордун тогу ОВда өткөндөй эле, демпфердик оромодо да өтөт (6-сүрөт а,б); экинчиси – качан жаа өчкөндө жана ток ОВ  $i_f = 0$ , бирок демпфердик оромодо ток өчө элек (6-сүрөт, а,б). Жааны өчүрүүнүн убакыты 0,11 с жакын.



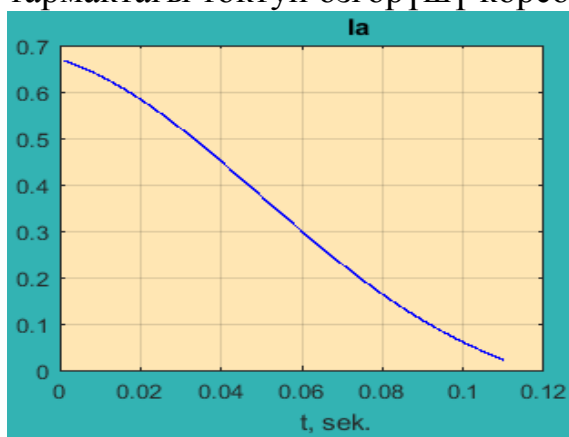
а)



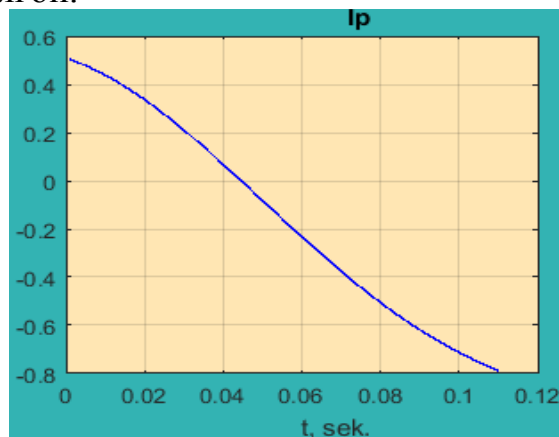
б)

**6-сүрөт. Ротордун магниттик талаасын өчүрүүдө ОВда жана демпфердик оромодо токтуун өзгөрүшү**

7-сүрөттө, а, б электр системасы менен байланышкан сырткы тармактагы токтуун өзгөрүшү көрсөтүлгөн.



а)



б)

**7-сүрөт. Синхрондук токтуун активдүү жана реактивдүү токторунун өзгөрүшүнүн ийри сызыктары**

Магниттик талааны өчүрүү процессинде активдүү жана реактивдүү токтордун азайышы 8,а,в-сүрөттөгү баштапкы режимде вектордук диаграммада айкын көрүнүп турат.

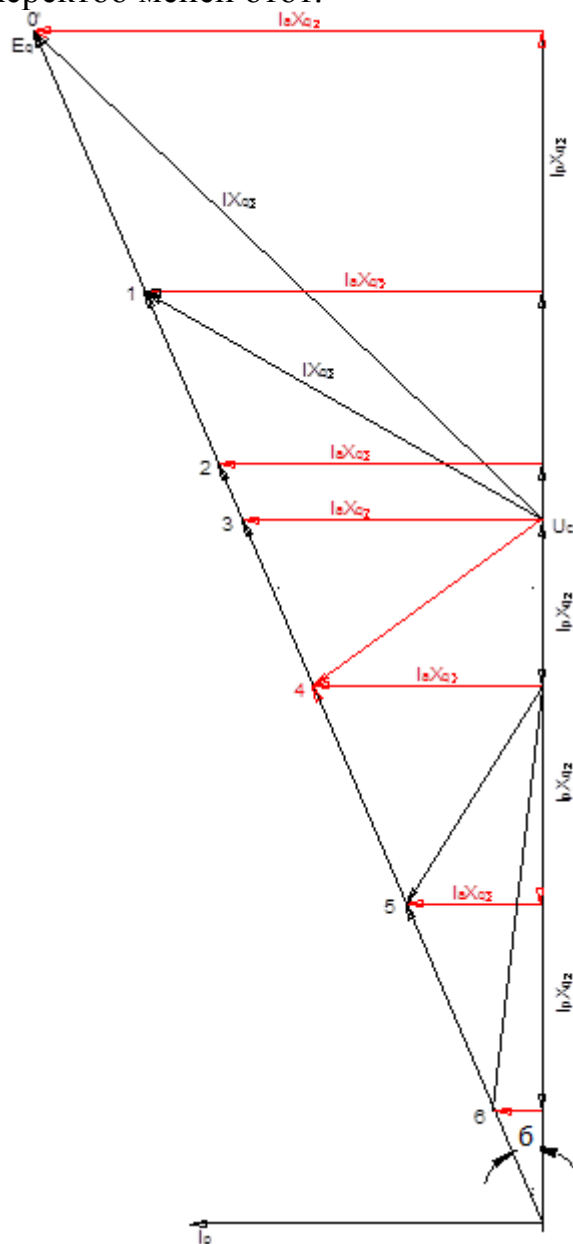
Баштапкы режимде  $E_q$  1,8 о.е. түзөт (вектордук диаграммада 0' чекити), системанын чыңалуусу  $U_c$  менен  $E_q$  ортосундагы бурч  $\delta=26.59^\circ$ , талааны өчүрүү  $t$  убактысында бурч өзгөрбөйт. Дүүлүгүү тогунун азайышы менен  $E_q$  э.к.к. (электр кыймылдаткыч күчү) модулу боюнча азаят (ОО' түз сызыгы боюнча). Диаграммдан көрүнүп тургандай  $E_q$  э.к.к. азайган сайын  $I_a X_{q\Sigma}$  активдүү жана  $I_p X_{q\Sigma}$  реактивдүү чыңалуунун төмөндөшүнүн кошулуучуларынын маанилери азаят (1-чекит), себеби  $I_a$  активдүү жана реактивдүү токтуун кошулуучуларынын маанилери 7,а,б- сүрөттө көрсөтүлгөндөй кичирейет.

3-чекитте синхрондук генератор тармакка берген реактивдүү ток 0 барабар жана системанын чыңалуусу  $U_c$  менен  $I$  токтуун ортосундагы бурч 0  $\varphi_c=0$  (8,г-сүрөттө а чекити), б.а. генератор реактивдүү кубаттуулукту бербейт. Активдүү кубаттуулукту өткөрүп берүү активдүү ток азайган сайын азаят:

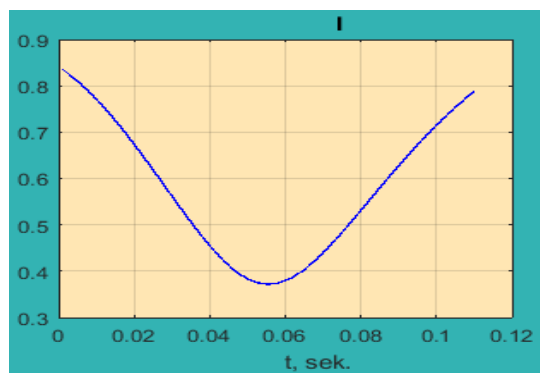


$$I_a = \frac{E_q - U_c}{X_{q\Sigma}}.$$

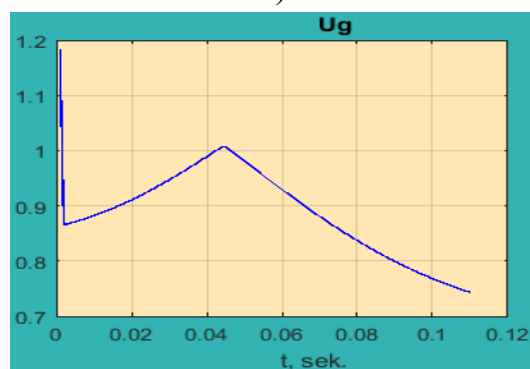
$E_q$  э.к.к. андан ары төмөндөшү (4 чекити) тармактан реактивдүү кубаттуулукту керектөөгө алып келет, бирок активдүү кубаттуулукту өткөрүп берүү уланат,  $\varphi_c$  бурчу белгисин өзгөртөт (8,г-сүрөт, б чекити), синхрондук генератор  $\cos\varphi_c$  астыга ашып кетүү менен иштейт б.а. синхрондук генератор асинхрондук режимине тармакка активдүү кубаттуулукту берүү менен жана тармактан реактивдүү кубаттуулукту керектөө менен өтөт.



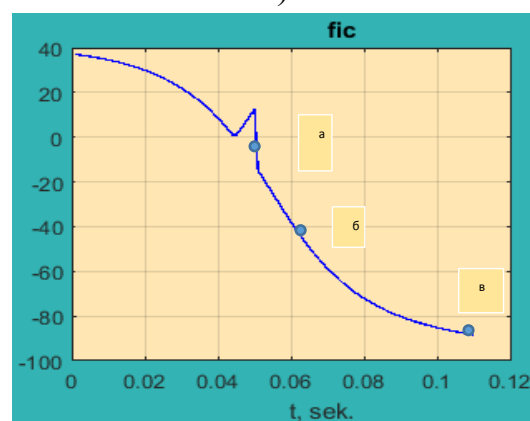
а)



а)



б)

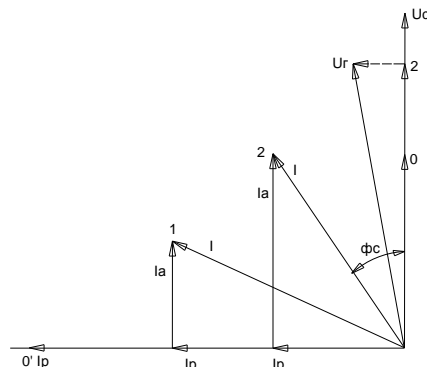


в)

**8-сүрөт. Ротордун магниттик таласын өчүрүүдө синхрондук генератордун (а) вектордук диаграммасы жана статордун тогунун өзгөрүшүнүн ийри сызыгы (б), генератордун кысуучуларындагы чыңалуу (в)**

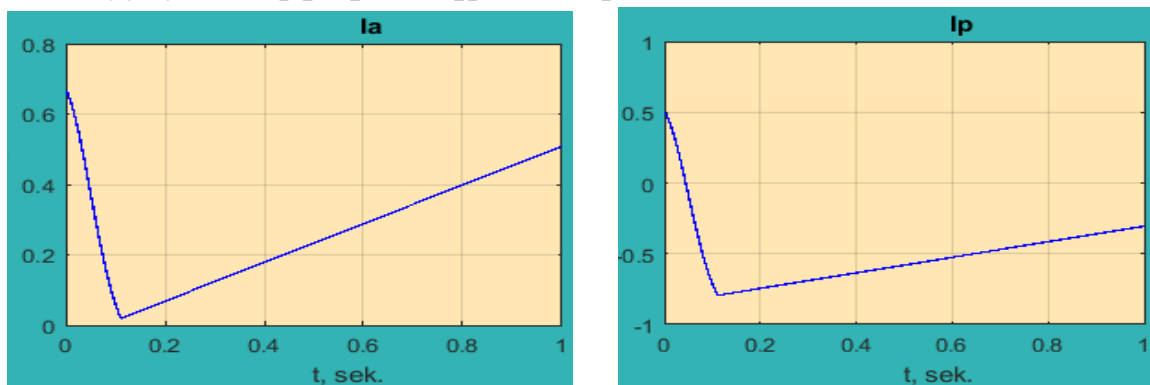
Вектордук диаграммада көрүнүп тургандай (9-сүрөт) жаанын өчүш учурунда реактивдүү ток өзүнүн максималдуу маанисине 0,8 о.е. жетет жана

генератордун  $U_r$  чыңалуусунан  $90^\circ$  артта калат. Активдүү  $I_a$  токтуун мааниси чындыгында нөлгө барабар. Мурда көрсөтүлгөндөй ушул учурдан баштап генератордун асинхрондук режими башталат, генератор тармактан реактивдүү кубаттуулукту керектеп баштайт жана активдүү кубаттуулукту бере баштайт (9-сүрөт).

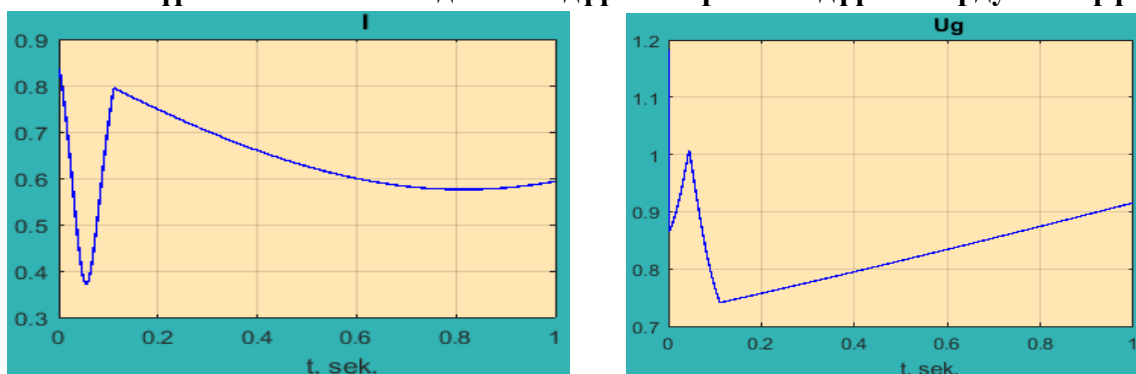


**9-сүрөт. Асинхрондук режимде токтуун жана чыңалуунун өзгөрүшүнүн вектордук диаграммасы**

Вектордук диаграммадан көрүнүп тургандай статордун активдүү түзүүчүсүнүн  $I_a$  өсүшү менен, ушуну менен бирге тармакка берилүүчү активдүү кубаттуулуктун, токтуун реактивдүү түзүүчүсү  $I_r$ , ары карай. Реактивдүү кубаттуулук азаят (10-сүрөт). Генератордо токтордун жана чыңалуунун өзгөрүшү 11-сүрөттө берилди.

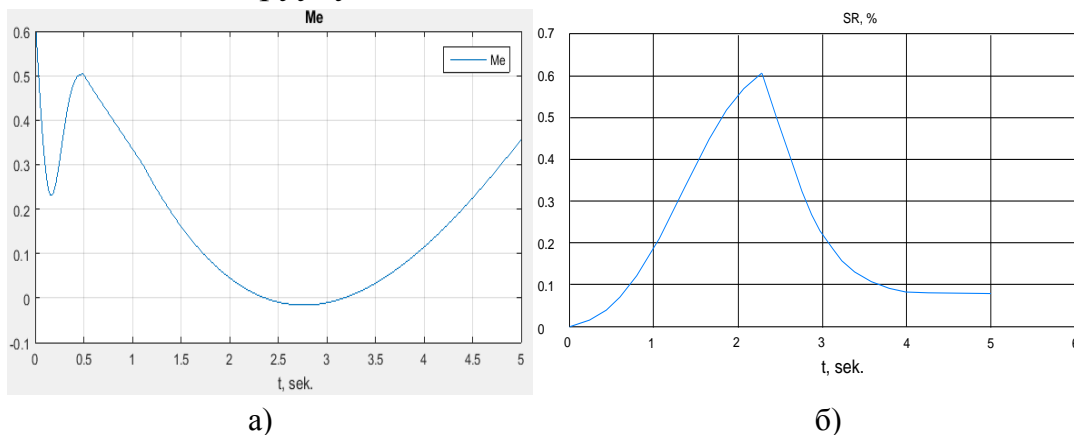


**10-сүрөт. Ачылган ОВ-да активдүү жана реактивдүү токтордун өзгөрүшү**



**11-сүрөт. Ачылган ОВ-да генератордун чыгууларындагы статордун тогунун жана чыңалуунун өзгөрүшү**

Электромагниттик моменттин  $M_e$  мааниси (12,а-сүрөт) дүүлүктүрүү башталганда номиналдыктын 0,37 о.е. же 55% түздү, ошондуктан турбинанын кубаттуулугунун азайышы же АЖС-нын статистикалык мүнөздөмөлөрү 45% түзөт, б.а. мында тормоздук электромагниттик момент турбинанын айландыруучу моментин тең салмактайт.



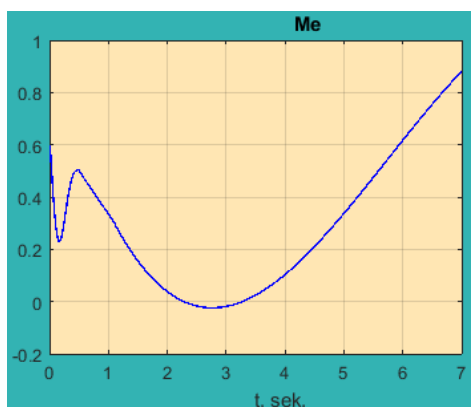
**12-сүрөт. Ачылган ООВ-да электромагниттик моменттин  $M_e$  (а) жана жылмышуунун (б) өзгөрүшүнүн ийри сызыктары**

Жылмышуу  $s$  өзүнүн максималдуу маанисине (0,5%) 2,4 с убакыттын маанисинде жетет, андан кийин нөлгө чейин азаят (12,б-сүрөт), б.а. синхронизмге тартуу шарты камсыздалат. Бул учурда ротордун айлануу жыштыгы 0,6 %, жогоруда көрсөтүлгөндөй мүмкүн болгон (10%) мааниден ашпайт.

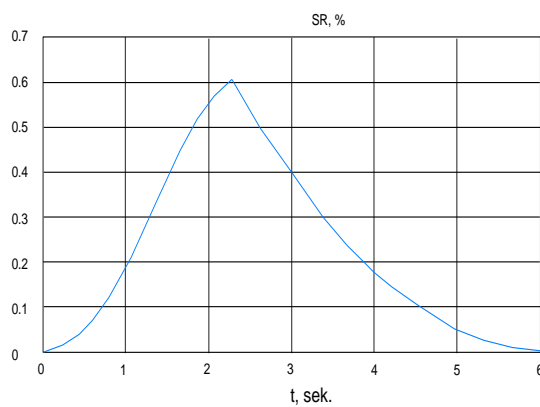
Жабык (туяк) дүүлүгүүнүн оромосунда статорго кирген суммалык магниттик агым ачылган оромодогу магниттик агымга караганда чоң болот. Электромагниттик моменттин чоңдугу бул учурда ачылган оромодого караганда чоң, экинчи кошулуучу чоңоёт.

Мында асинхрондук моменттин ийри сызыгы “катуу”, б.а. жылмышуу моментинин чоңдугу олуттуу чоңойгондо синхрондук генератор өстүргөн момент дагы бир аз чоңоёт, жана ресинхрондоштурууда анча чоң эмес жылмышууда олуттуу өзгөрүшү мүмкүн, генератор же нагрузкасын толугу менен сактайт, же бир азга төмөн болот.

13-сүрөттө электромагниттик моменттин жана жылмышуунун өзгөрүшүнүн ийри сызыктары көрсөтүлгөн. 6-секундада (13,а-сүрөт) электромагниттик момент 0,94  $M_e$  маанисине жетет да жылмышуу (13,б-сүрөт) чындыгында нөл болот, б.а. ресинхрондоштуруу турбинанын АЖСнын таасирисиз камсыз болот.



а)

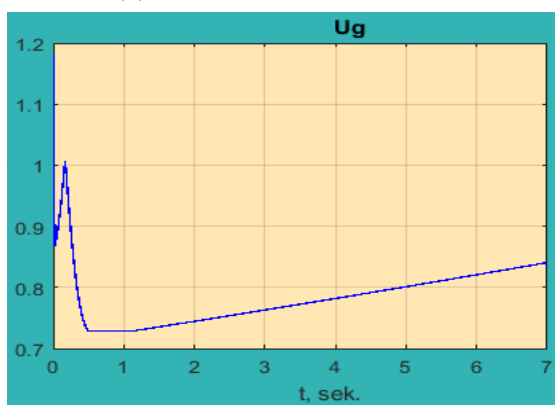


б)

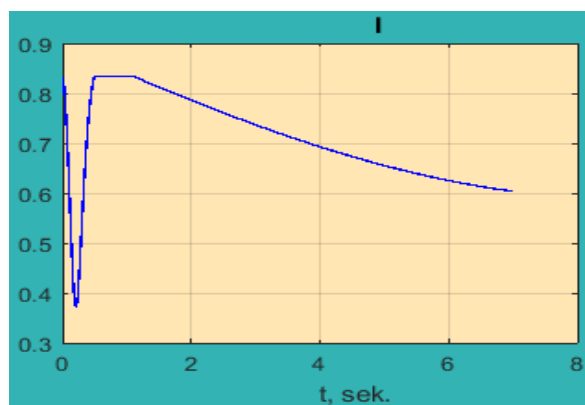
**13-сүрөт а) – электромагнитик моменттин өзгөрүү ийри сызыгы; б) – жылмышуун өзгөрүшү**

Жылмышуу өзүнүн максималдуу маанисине  $S_n$  тан 0,6% жетет, б.а. бир пайыздан дагы ашпайт. Жылмышуунун мындай мааилеринде асинхрондук режим синхрондук генератор үчүн кооптуулукту туудурбайт жана анын болушуна мүмкүнчүлүк берилет. Дүүлүгүүсү калыбына келгенден кийин, кичине жылмышуу менен иштеп жаткан генератор синхронизмге тынч гана татылат.

Ресинхрондошуу учурунда генератордун шиналарындагы чыңалуу (14,а-сүрөт)  $0,9U_n$  түзөт. Чыңалуунун, , эгерде генератор номиналдык жүктөөнү өзүнө алган учурда да мындай төмөндөшү мүмкүн болот, б.а. жүктөөдөн бошоо чындыгында жок болот. Бул учурда ток (14,б-сүрөт) номиналдыкка жакын.



а)



б)

**14-сүрөт. а) – генератордун шиналарындагы чыңалуунун өзгөрүшү; б) – статордун тогунун өзгөрүшү**

### Корутунду:

- Биринчи жолу агрегаттын асинхрондук режиминин эсептөөсүнүн ыкмасы иштелип чыкты: турбина – синхрондук генератор дүүлүгүү жоголгон учурда, бул ротордун магниттик талаасын өчүрүүдөн баштап ресинхродоштуруу моментине чейин өтмөк процессти үзгүлтүксүз

эсептегенге мүмкүндүк түзөт, синхрондук машинаны синхронизмге киришине мүмкүндүктү айкындайт.

- Синхрондук генератордун дүүлүгүү жоголгондо асинхрондук режиминде изилдөөлөр жүргүзүлдү. Ротордук контурлардын параметрлери өзгөргөндө ар кандай режимдердин изилдөөлөрү жүргүзүлдү. Синхрондук машинанын сырткы тармагы менен ресинхрондоштуруунун шарттары аныкталды.

## **Диссертациянын темасы боюнча жарык көргөн илимий иштердин тизмеси**

### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

1. **Джунуев, Т.Т.** Применение метода малых колебаний для анализа устойчивости ЭЭС ограниченной мощности [Текст] / Т.Т. Джунуев, Т.А. Джунуев, А.К. Мамакеева // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. – 2014. – № 1(32). – С. 294-296.

2. **Джунуев, Т.Т.** Определение балансирующего узла в энергетической системе ограниченной мощности [Текст] / Т.А. Джунуев, Т.Т. Джунуев // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. – 2014. – № 1(32). – С. 343-345.

3. **Джунуев, Т.Т.** Статическая устойчивость ЭЭС Кыргызской Республики [Текст] / Т. Джунуев, Т.Т. Джунуев, М.Т. Абдылдаева // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. – 2014. – № 1(32). – С. 291-293.

4. **Джунуев, Т.Т.** Макромодели синхронной машины и группы машин в системах ограниченной мощности [Текст] / Т.Т. Джунуев // Вестник амурского государственного университета. Серия: естественные и экономические науки. №67. – Благовещенск, 2014. С. 208-211

5. **Джунуев, Т.Т.** Анализ аварийных режимов работы энергосистемы в условиях отсутствия аварийного резерва [Текст] / Т.Т. Джунуев // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: сб. тр. восьмой Междунар. науч.-техн. конф. – Благовещенск, 2015. – С. 208-211.

6. **Джунуев, Т.Т.** Допустимость применения НАПВ на линии 110 кВ, соединяющей ТЭЦ с системой соизмеримой мощности [Текст] / Т.А. Джунуев, Т.Т. Джунуев // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. – 2015. – № 3(36). – С. 173-176.

7. **Джунуев, Т.Т.** Расчеты асинхронных режимов турбогенераторов при потере возбуждения [Текст] / Т.А. Джунуев, М.Т. Абдылдаева, Т.Т. Джунуев // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. – 2015. – № 3(36). – С. 178-183.

8. **Джунуев, Т.Т.** Резистивная модель синхронной машины. [Текст] / Джунуев Т.Т. Таабалдива Н.Д. // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. – 2015. – № 3(36). – С. 183-189.
9. **Джунуев, Т.Т.** Определение условий ресинхронизации гидрогенераторов, работающих через ЛЭП на систему [Текст] / Джунуев Т.Т. // Теоретический и прикладной научно-технический журнал ИЗВЕСТИЯ КГТУ, №3(36), - Бишкек, 2015, С.183-189
10. **Джунуев, Т.Т.** Разработка базовой математической модели синхронного генератора при потере возбуждения. [Текст] / Джунуев Т.Т. // Теоретический и прикладной научно-технический журнал ИЗВЕСТИЯ КГТУ, №4(44), 2017, с.83-90
11. **Джунуев, Т.Т.** Полная модель синхронной машины в асинхронном режиме при потере возбуждения. [Текст] / Джунуев Т.Т., Мамакеева А.К. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 68. Исследование и обеспечение надежности систем энергетики / Отв. ред. Н.И. Воропай – ИСЭМ СО РАН, 2017 г. – 682 с.
12. **Джунуев, Т.Т.** Разработка базовой математической модели синхронного генератора при потере возбуждения. [Текст] / Джунуев Т.Т., Таабалдиева Н.Д. // Теоретический и прикладной научно-технический журнал ИЗВЕСТИЯ КГТУ, №4(44), - Бишкек, 2017, С.83-90
13. **Свидетельство №351** – Универсальная программа определения балансирующего узла ЭЭЧ ограниченной мощности. Государственная патентная служба КР. – Бишкек, 2014

## **РЕЗЮМЕ**

диссертации Джунуева Тимур Тилегеновича на тему  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ  
УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.18 – Элементы и устройства вычислительной техники и системы управления и 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические системы

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, электрические станции, линии электропередач, синхронный генератор, асинхронный режим, потеря возбуждения автоматическое регулирование возбуждения, турбина, автоматический регулятор скорости.

**Объект исследования:** асинхронные режимы синхронного генератора и устройства регулирования скоростью при ресинхронизации.

**Цель работы** – разработка методики расчета асинхронных режимов синхронных генераторов при потере возбуждения и разработка схемы устройства регулятора скорости турбины при вхождении в синхронизм.

**Полученные результаты и их новизна.** Разработана математическая модель синхронного генератора при гашении магнитного поля ротора при потере возбуждения; разработана математическая модель синхронного генератора в асинхронном режиме при разомкнутой и замкнутой обмотке возбуждения. Получено выражение для определения напряжения на кольцах ротора в асинхронном режиме, позволяющая использовать модель в расчетах без изменения ее структуры; разработана математическая модель агрегата: турбина – синхронный генератор, которая позволяет представлять турбину различными моделями – уточненной при больших скольжениях ( $2\div 4\%$ ) и приближенной – при малых скольжениях ( $0,02\div 0,06\%$ ); впервые разработана методика расчета асинхронного режима агрегата: турбина – синхронный генератор при потере возбуждения, которая позволяет рассчитывать переходный процесс непрерывно, начиная от гашения магнитного поля ротора до момента ресинхронизации, выявляет возможность вхождения в синхронизм синхронной машины; проведены исследования асинхронных режимов синхронного генератора при потере возбуждения. Выполнены исследования различных режимов при изменении параметров роторных контуров. Выявлены условия ресинхронизации с внешней сетью синхронной машины.

Полученные результаты могут быть использованы при расчетах асинхронных режимов синхронных генераторов при потере возбуждения на электрических станциях, что позволит выявить вопрос о сохранении в работе генератора в таких режимах без отключения от сети.

**Область применения:** электрические станции, электрические системы.

#### **Джунуев Тимур Тилегеновичтин**

05.13.18. - Математикалык моделдөө, сандык эсептөөлөр жана программалар комплекси жана 05.14.02 – Электр чордондор жана электр-энергетикалык системалар адистиктери боюнча техникалык илимдердин кандидаты окумуштуулук даражасына изденүүгө арналган **“Электр-энергетика системасынын элементтерин математикалык моделдөө жана изилдөө” диссертациясынын**

#### **КОРУТУНДУСУ**

**Негизги сөздөр:** Электр-энергетика системасы, электр чордондору, электр ташучу чубалгылар, синхрондук генератор, асинхрондук режим, дүүлүктүрүүсүн жоготуу, дүүлүктүрүүнү жөнгө келтирүү, турбина, ылдамдыкты автоматтык жөнгө келтирүү.

**Изилденүүчү объектер:** синхрондук генератордун асинхрондук режимдери жана ресинхрондоо маалында ылдамдыкты жөнгө келтирүүчү түзүлүштөр.

**Иштин максаты:** дүүлүктүрүүсүн жоготкон кездеги синхрондук генераторлордун асинхрондук режимдерин эсептөөнүн усулун иштеп чыгуу жана турбина синхронизмге кирген кезде анын ылдамдыгын жөнгө келтирүүчү түзүлүштүн схемасын иштеп чыгуу.

**Иштин натыйжалары жана алардын жаңылыгы.** Ротор дүүлүктүрүүсүн жоготкондо анын магнит талаасын өчүрүү мезгилиндеги синхрондук генератордун математикалык модели иштелип чыгарылды; Моделдин түзүлүшүн өзгөртпөй туруп, ротордун шакектериндеги чыңалууну аныктай турган туюнтма алынды. Турбина – синхрондук генератор агрегатынын математикалык модели иштелип чыгарылды, бул модель турбинаны ар башка модель менен көрсөтүүгө мүмкүндүк берет: такталган модель - чоң жылмышуу (2-4%) болгондо, болжолдуу модель - кичине жылмышуу (0,02 – 0,06%) болгондо; агрегаттын асинхрондук режимде иштөөсүн эсептеп чыгуунун жаңы ыкмасы биринчи ирет иштелип чыгарылды жана сунушталды: бул ыкма өткөөл жараянды башынан аягына чейин - ротордун магнит талаасын өчүрүүдөн баштап, ресинхрондоо учуруна чейин токтоосуз эсептеп чыгууга жана синхрондук машинаны синхронизмге киргизүүгө мүмкүндүк берет; синхрондук генератор дүүлүктүрүүсүн жоготкон кездеги асинхрондук режимде иштөөсү изилденди. Ротордук контурдун параметрлери өзгөргөндөгү ар кандай режимдер изилденди. Синхрондук машинанын сырткы тарамдар менен ресинхрондашуусунун шарттары аныкталды.

Иштин натыйжасы электр чордондорундагы синхрондук генераторлор дүүлүктүрүүсүн жоготкон кездеги асинхрондук режимдерин эсептөөгө арналат, бул болсо ушундай режимдер маалында генераторду өчүрбөстөн, иштетүүсүн уланта берүүгө мүмкүндүк берет.

**Колдонуу чөйрөсү:** электр чордондору, электр тутумдары.

## **SUMMARY**

dissertation of Dzhunuev Timur Tilegenovich on the topic

### **MATHEMATICAL MODELING AND RESEARCH OF THE STABILITY OF ELEMENTS OF ELECTRIC POWER SYSTEMS**

submitted for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialties 05.13.18

- Elements and devices of computer facilities and control systems and 05.14.02 -

Power stations and electric power systems

**Keywords:** electric power system, electric stations, power lines, synchronous generator, asynchronous mode, excitation loss, automatic excitation control, turbine, automatic speed controller.

**Object of investigation:** asynchronous modes of a synchronous generator and speed control devices for resynchronization.



The purpose of the work is the development of a technique for calculating the asynchronous modes of synchronous generators in the event of a loss of excitation and the development of a device for regulating the speed of a turbine when it enters into synchronism.

**The results obtained and their novelty.** A mathematical model of a synchronous generator is developed for quenching the magnetic field of the rotor when excitation is lost; The mathematical model of a synchronous generator in an asynchronous mode with an open and closed field winding is developed. An expression is obtained for determining the voltage on the rotor rings in an asynchronous mode, which makes it possible to use the model in calculations without changing its structure; The mathematical model of the unit is developed: a turbine is a synchronous generator that allows the turbine to be represented by different models - refined for large slides ( $2 \div 4\%$ ) and approximate - for small slides ( $0.02 \div 0.06\%$ ); The method for calculating the asynchronous mode of an aggregate has been developed for the first time: a turbine is a synchronous generator with loss of excitation, which makes it possible to calculate the transient process continuously, from blanking the magnetic field of the rotor to the time of resynchronization, reveals the possibility of synchronization of the synchronous machine; The research of asynchronous modes of a synchronous generator with loss of excitation is carried out. The research of various modes is performed when changing the parameters of the rotor circuits. The conditions of resynchronization with the external network of a synchronous machine are revealed.

The obtained results can be used in calculations of asynchronous modes of synchronous generators with loss of excitation at electric stations, which will allow to reveal the question of keeping the generator operating in such modes without disconnecting from the network.

**Scope:** electric stations, electrical systems.

**ДЖУНУЕВ ТИМУР ТИЛЕГЕНОВИЧ**

**ЭЛЕКТР- ЭНЕРГЕТИКА СИСТЕМАСЫНЫН ЭЛЕМЕНТТЕРИНИН  
ТУРУКТУУЛУГУН МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛДӨӨ ЖАНА  
ИЗИЛДӨӨ**

**Диссертациянын авторефераты**

20.04.2018 ж. басмага кол коюлду.

Формат 60x84 1/16 Көлөмү 1.25 п.л.

Офсеттик кагаз. Тиражы 40 экз. Тапшырык №512

---

720020, Бишкек ш., Малдыбаев көч., 34,б  
Н.Исанов атындагы Кыргыз мамлекеттик курулуш,  
транспорт жана архитектура университети

«Авангард» окуу-басмакана борбору