

ANNOTATION

on thesis of Issabekov Dauren Dzhabulovich «Development of reed switch resource-saving current protection with fault diagnosis» submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 6D071800 - "Electrical Power Engineering"

Relevance

One of the fundamentally unresolved problems of the electric power industry is considered to be the construction of relay protection for high-voltage installations without the use of traditional current transformers (CTs), which was repeatedly mentioned at international conferences on large energy systems (CIGRE). The fact is that current transformers are very metal consuming and bulky, have expensive insulation and other disadvantages. In PSU them. S. Toraigyrova Professor Kletsel M.Ya. and his many students, as well as Russians Goryunov V.N., Gurevich V.I. and Shoffoy V.N. For several decades, protections without the use of CTs on magnetically controlled reed contacts were developed. Reed switches were selected due to the fact that they have a number of advantages important for relay protection compared to other magnetically sensitive elements. The principles of constructing current, differential, differential-phase and distance protection have already been developed (more than 100 patents and 30 publications in Moscow magazines and in Scopus databases have been received). However, for a number of electrical installations, questions regarding the very possibility of using reed switches to build protections, installing them near current-carrying buses at a safe distance, calculating relay parameters and protection settings, assessing their sensitivity, performance and reliability were not considered. And the developed devices on the reed switches are overwhelmingly not equipped with either test diagnostics of malfunctions or functional, although at present this method of increasing reliability in relay protection technology is considered almost mandatory.

In the present work, an attempt is made to solve the issues raised during the development of reed current protection of electrical installations powered by 6-10 kV switchgear. These installations are selected due to the fact that they are very widespread in the electric power industry.

The **object of study** is the relay protection of electrical installations.

Subject of study - are reed switch resource-saving current protections with fault diagnosis for electrical installations powered by switchgear 6-10 kV.

The connection of the topic of the dissertation with general scientific (state) programs. The work was carried out in accordance with the scientific directions of the international (European) Research Committee B5 "Relay protection and automation" of the international organization CIGRE, as well as within the framework of the budget program "Development of Science", under the subprogramme "Grant funding for research" of the project "Creating a globally competitive resource-saving relay protection of power supply systems ", funded by JSC "Science Fund" of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

The purpose of the work is the development of reed switch resource-saving current protection with fault diagnosis for electrical installations with switchgear 6-10 kV.

To achieve the goal, the following tasks were set and solved:

1 Construction of a noise-resistant overcurrent relay on reed switches with test diagnostics of faults, a relay and a reverse sequence current filter with functional fault diagnostics.

2 Determination of the magnitude of the magnetic field induction inside the switchgear cell with a voltage of 6-10 kV, the coefficient necessary for introducing into the Bio-Savard-Laplace formula in order to use it in the calculations.

3 Development of methods for selecting the response current of the reed contact overcurrent protection installed in the switchgear and the parameters of the reverse sequence current filter.

4 Development of structures for fastening close to current-carrying busbars of switchgear 6-10 kV, providing remote control of overcurrent protection settings.

5 Evaluation of the sensitivity, performance and efficiency, the proposed overcurrent protection on the reed switches.

The validity and reliability of scientific provisions, conclusions and recommendations is confirmed: by the competent use of the fundamental provisions of relay protection, the theoretical foundations of electrical engineering and the foundations of the design of mechanisms and machines, as well as field experiments in switchgear 6-10 kV. with developed overcurrent relays on reed switches and testing in the form of publications in a journal with impact factor 4 based on Scopus, 3 patents of the Republic of Kazakhstan, 3 patents of the Russian Federation and reports at 3 conferences, one of which is foreign.

Scientific novelty of the work:

1. The theory of the construction of shields on reed switches is developed: a) based on measuring the induction of magnetic fields in different modes and points inside the switchgear of 6-10 kV. it is proved that their values are sufficient to detect interphase short circuits in electrical installations powered by these switchgears and the dependences of these inductions on the position of the reed switch inside the switchgear under consideration are found; b) it is shown that for their calculation it is possible to use the simplest formula of the Bio-Savard-Laplace law if we add to it the coefficient obtained as a result of experiments in this switchgear; c) a procedure has been created for calculating the overcurrent protection parameters on reed switches for 6-10 kV switchgear, which differs from the known ones by using this formula and taking into account the influence of interference from currents in the metal parts of the switchgear; d) a method for calculating the parameters for the proposed reverse current filter on the reed switches; e) a method for test and functional diagnosis of current protection on reed switches is proposed, which consists in supplying current to the reed switch control winding while blocking the output circuit.

2. One maximum relay with test diagnostics, and the other with functional diagnostics, as well as two devices that allow mounting the reed switch near the

switchgear busbars with the possibility of remote control of the settings of the operation of current protection are created and patented. The first differs from the known ones by the presence of a control winding and a start button, and the second also by capacitors and intermediate relays. The third is the presence of a stepping electric motor with a belt drive, the fourth is boxes with reed switches and plates moving in two directions.

New scientific results:

1. It is proved that the magnitude of the magnetic field induction inside the switchgear is 6-10 kV. sufficient to detect interphase short circuits with the help of reed switches in electrical installations powered by it.

2. To calculate the magnetic field inductions inside the switchgear under consideration, one can use the formula for writing the Bio-Savard-Laplace law in the simplest form, if one introduces into it a correction coefficient obtained as a result of experiments conducted in it.

3. Methods for selecting overcurrent protection settings on reed switches for electrical installations with switchgear and calculating the parameters of the mentioned filter have been developed.

4. The two above-mentioned overcurrent relays with test and functional diagnostics of faults and two designs for their fastening were created.

The practical significance of scientific results:

1. A resource-saving current relay on reed switches without the use of current transformers with test and relays with functional diagnostics of faults has been developed, which will increase the reliability of current protections performed with their help.

2. The proposed relay with test diagnostics is capable of failing during short-term interference and sticking of contacts, and a reverse sequence current filter with functional fault diagnostics, which can be used to build particularly sensitive and reliable current protections.

3. A procedure has been developed for calculating the overcurrent protection parameters on reed switches in a switchgear with a voltage of 6-10 kV, taking into account the influence of interference from currents in metal parts in its own and neighboring switchgears, and a calculation method for the mentioned filter.

4. For the switchgear, an overcurrent protection device on the reed switches with remote control of the settings was created, which allows the tuning of the operation settings without disabling the electrical installation.

The practical value of the work.

1. It is proved that the induction of magnetic fields inside the switchgear is 6-10 kV. sufficient for the operation of the reed switches in the current protection, and to calculate these inductions, you can use the formula of the Bio-Savard-Laplace law, with the introduction of the obtained coefficient into it.

2. The developed overcurrent relays on the reed switches are more advanced in comparison with the known ones, since they have advantages, one due to the availability of simple test diagnostics for faults, the second also not to work for short-term faults, and the third due to the presence of functional diagnostics.

3. The created design for mounting the reed switches allows you to remotely and without disconnecting the electrical installation to adjust the response setting.

4. The proposed method for calculating the overcurrent protection parameters on the developed relays makes it possible to take into account the errors in the installation of reed switches inside the switchgear and the influence of currents in the phases of the protected and adjacent connections, and, very importantly, the effect of induced currents in their metal parts.

5. The developed methodology for calculating the negative sequence current filter with fault diagnosis makes it easy to implement them.

The following are submitted to the defense:

1. Two overcurrent relays with test and functional fault diagnosis.

2. The formula for calculating the magnetic field inductions with the dependences of these inductions on the position of the reed switch inside the switchgear cell.

3. Methods of calculating the parameters: a) maximum current protection of switchgear 6-10 kV. using the formula for calculating induction and taking into account the influence of interference from neighboring cells; b) reverse sequence current filter with fault diagnosis.

4. A method for test and functional diagnosis of current protection on reed switches, as well as two devices for mounting a reed switch near the busbars of a switchgear cell.

Implementation of the results of the work. Consent was obtained for the implementation of a current protection device in a switchgear unit at JSC PREC (Pavlodar).

Approbation of work. The main provisions of the dissertation were reported at the International Scientific Conference “XVII Satpayev Readings” (Pavlodar, 2017), “X Toraigyrov Readings” (Pavlodar, 2018), 47th International Scientific and Practical Conference “Actual Issues of Science” (Moscow, 2019).

Publications. The research results were published in 11 scientific works: one article in the journal included in the Scopus database: 7 publications in publications recommended by ESMC, among which 3 patents for the invention of the Republic of Kazakhstan, 3 patents for the invention of the Russian Federation, 2 of which are included in the Web of Science "; 3 publications in materials of international conferences, including 1 in materials of a foreign conference. In publications co-authored, the personal contribution of the applicant is 80%, and in article [55] - 30%.

The structure and scope of the dissertation. Conclusion and three applications. The work is presented on 95 pages of computer text, includes 45 figures. The list of sources used consists of 73 items.

The first chapter, “Analysis of existing current protections,” discusses traditional protections that receive information from current transformers with ferromagnetic cores, current protections on various converters without current transformers: on magnetic current transformers, Rogowski sensors, magnetoresistors, magnetodiodes and magnetotransistors, Hall sensors and on inductors. The current protection of the elements of electrical systems on the reed switches is described in

detail. The most important advantages of the reed switch for relay protection are indicated. Their advantages are given in comparison with other magnetically sensitive elements. It is shown that they have sufficient sensitivity for use in the relay protection of electrical installations 6-110 kV. The implementation of the maximum current protection on the reed switches with the choice of settings is presented, attention is paid to the detuning from self-starting and various interference. Methods of protection on the reed switches are indicated, including relay circuits and structures for their fastening. The importance of test and functional fault diagnosis for relay protection is emphasized. Some circuits with fault diagnostics are analyzed. The conclusions of the chapter indicate that special attention during research should be given to the development of simple current protection devices on reed switches with test and functional diagnostics of malfunctions and determination of the distribution of magnetic fields inside the switchgear cell.

The second chapter, “Development of current protection circuits on reed switches with diagnosis of faults and structures for mounting them in 6-10 kV switchgear”, describes resource-saving current relays on reed switches with test diagnostics: a relay circuit with a pulse counter and test diagnostics, a relay circuit with test diagnostics not working unnecessarily with short-term interference and sticking of contacts. Test diagnostics is carried out by pressing a button and applying alternating current to the reed switch winding (installed under the electrical installation bus).

The results of an experimental check on the developed laboratory installation of the proposed noise-resistant relay with voltage waveforms when the reed switch and other relays are triggered are presented. The circuits of current protection devices on reed switches with functional diagnostics are analyzed. A feature of the circuit is that it gives a test signal every 2 minutes. A circuit with functional diagnostics of the filter of currents of the reverse sequence on the reed switches and inductors is proposed. The circuit of the known filter is duplicated and, using one reed switch with two windings, controls the voltage on the control windings of two filter reed switches installed under the busbars of the electrical installation.

The proposed designs for mounting reed switches in 6-10 kV switchgear are described. A feature of one of the designs is that it can be used to automatically adjust the protection settings, and the second to move the reed switches relative to the busbars in two directions. A photograph of the location of the prototype of the reverse sequence current filter in the vicinity of the switchgear buses is presented. The conclusions indicate that the developed relays on the reed switches with fault diagnosis are simple, efficient and have sufficient speed.

The third chapter, “Protection parameters with a developed relay and reverse sequence current filter”, presents the features of calculating magnetic fields in switchgear 6-10 kV. It is shown that it is preferable for these purposes to use the Bio-Savard-Laplace law in the simplest form with the introduction of experimentally obtained coefficients. The results of experiments on the use of the Bio-Savard-Laplace law for calculating magnetic fields in the switchgear carried out at the Samara State Technical University are analyzed. Widely used switchgear cells in

Kazakhstan are described, on which experiments were carried out to determine the distribution of the magnetic field induction inside the switchgear.

It is shown that they (induction) are of sufficient size to build relay protection. The experimental setup is considered. The coefficients that evaluate the effect of various interference, including those generated by currents in neighboring switchgear, are determined.

The recommended methodology for conducting full-scale experiments in complete switchgears is presented. A methodology for the selection of overcurrent protection settings with a developed relay on reed switches and an example of selection are given. Particular attention is paid to determining the magnitude of the induction of magnetic fields in studies, with various short circuits in neighboring cells.

The calculation of the filter parameters of the currents of the reverse sequence with the arrangement of the phases of the protected electrical installation at the vertices of the triangle and at a horizontal arrangement is given. In this case, special attention is paid to the choice of coordinates ensuring the absence of zero sequence currents. Experimental studies of the presented filter of currents of the reverse sequence with a horizontal phase arrangement are described, which confirms the waveforms to be operational. It is shown that the introduction of a current protection device with a relay with a pulse counter and automatic adjustment of the settings can bring an economic effect of 902 tons of tenge per year. The conclusions indicate that the correction factors must be determined experimentally for each switchgear, and the developed methodology for determining the distribution of magnetic fields can be recommended for any switchgear.

The results of the work are as follows:

The tasks were solved in the work: development of a current relay with fault diagnostics, new devices and structures of current protection and methods for calculating the filter of currents of reverse sequences on reed switches, as well as an experimental study of the distribution of the magnetic field inside the cell for electrical installations with switchgear 6-10 kV. The results of the work are as follows:

1 The theory of building defenses on reed switches is developed:

a) based on the measurement of the magnetic field induction in different modes and points inside the switchgear 6-10 kV. it is proved that their values are sufficient to detect interphase short circuits in electrical installations powered by these switchgears and the dependences of these inductions on the position of the reed switch inside the switchgear under consideration are found;

b) it is shown that for their calculation it is possible to use the simplest formula of the Bio-Savard-Laplace law if we add to it the coefficient obtained as a result of experiments in this switchgear;

c) a procedure has been created for calculating the overcurrent protection parameters on reed switches for 6-10 kV switchgear, which differs from the known ones by using this formula and taking into account the influence of interference from currents in the metal parts of the switchgear;

d) a method for calculating the parameters for the proposed reverse current filter on the reed switches;

e) a method for test and functional diagnosis of current protection on reed switches is proposed, which consists in supplying current to the reed switch control winding while blocking the output circuit.

2 Created and patented one maximum relay with test diagnostics, and the other with functional, as well as two devices that allow mounting the reed switch near the switchgear with the ability to remotely control the settings of the operation of current protection.

АНДАТПА

6D071800 - «Энергетика» мамандығы бойынша, философия ғылымдарының докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алуға ұсынылған Исабеков Даурен Джамбуловичтің «Геркондағы ресурс үнемдейтін ақаулардың диагностикасы мен ток қорғауларды жасау» тақырыбындағы диссертациясы

Өзектілігі

Электр энергетикасының түбегейлі шешілмеген мәселелерінің бірі ірі энергетикалық жүйелер (CIGRE) туралы халықаралық конференцияларда бірнеше рет айтылған дәстүрлі ток трансформаторларын (ТТ) пайдаланбай жоғары вольтты қондырғылар үшін релелік қорғаныс құрылысы болып саналады. Қазіргі трансформаторлар өте металды және көлемді, қымбат оқшаулау және басқа да кемшіліктерге ие. С. Торайғыров атындағы ПМУ-да профессор Клецель М.Я. және оның көптеген оқушылар мен, сондай-ақ ресейліктер Горюнов В.Н., Гуревич В.И. және Шоффа В.Н. бірнеше ондаған жылдар бойы магниттік басқарылатын контактілерінде-геркондарда ТТ қолданбай қорғаныстар жасалды. Геркондары басқа магниттік сезімтал элементтермен салыстырғанда релелік қорғаныс үшін маңызды бірқатар артықшылықтарға ие болғандықтан таңдалды. Қазіргі дифференциалды, дифференциалды-фазалық және қашықтықтан қорғауды құру принциптері әзірленді (Мәскеу журналдарында және Scopus мәліметтер базасында 100-ден астам патенттер мен 30 жарияланымдар алынды). Алайда, бірқатар электр қондырғыларында қоршау салу үшін геркондар пайдалану, оларды қауіпсіз алшақтық қасына орнату, реленің параметрлері мен қорғаныс параметрлерін есептеу, олардың сезімталдығын, өнімділігі мен сенімділігін бағалау мүмкіндігі туралы сұрақтар қаралмады. Ал геркондар дамыған құрылғылар, ақаулардың немесе функционалдық сынақтардың диагностикасымен толық қамтамасыз етілмеген, дегенмен қазіргі уақытта релелік қорғаныс технологиясында сенімділікті арттыру әдісі міндетті болып саналады.

Бұл жұмыста 6-10 кВ электр тарату қондырғыларымен қоректенетін электр қондырғыларының қамысты ток қорғанысын жасау кезінде туындаған мәселелерді шешуге әрекет жасалады. Бұл қондырғылар электр энергетикасында өте кең таралғандығына байланысты таңдалады.

Зерттеу нысаны - электр қондырғыларының релелік қорғанысы.

Зерттеу пәні - 6-10 кВ электр тарату қондырғыларында электр қондырғыларының ақаулық диагнозымен қоректендірілген қамыс қорғанысы.

Диссертация тақырыбының жалпы ғылыми (мемлекеттік) бағдарламалармен байланысы. Жұмыс CIGRE халықаралық ұйымының B5 «Релелік қорғаныс және автоматика» халықаралық (Еуропалық) ғылыми-зерттеу комитетінің ғылыми бағыттарына сәйкес, сондай-ақ «Ғылымды дамыту» бюджеттік бағдарламасы аясында «Ғаламдық бәсекеге қабілетті ресурстарды үнемдеу құру» жобасының «Зерттеулерді гранттық қаржыландыру» кіші бағдарламасы аясында жүргізілді. «Электрмен жабдықтау

жүйелерінің релелік қорғанысы», Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің «Ғылым қоры» АҚ қаржыландырады.

Жұмыстың мақсаты 6-10 кВ электр қондырғыларында ақаулық диагнозымен қамыс қосқыштың ресурс үнемдеуші тогын дамыту.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылып, шешілді:

1 Ақауларды сынау диагностикасы, реле және кері тізбектегі ток сүзгісі бар қамыс қосқыштарындағы шуылға төзімді шамадан тыс ток релесінің құрылысы, ақаулардың функционалды диагностикасы.

2 Кернеуі 6-10 кВ коммутациялық жасуша ішіндегі магнит өрісінің индукциясының шамасын анықтау, оны есептеулерде қолдану үшін Био-Савард-Лаплас формуласына енгізу үшін қажетті коэффициент.

3 Коммутациялық қондырғыда орнатылған қамыс контактілі шамадан тыс токтың қорғанысының және кері тізбектегі ток сүзгісінің параметрлерін таңдау әдістерін жасау.

4 МТЗ параметрлерін қашықтықтан басқаруды қамтамасыз ететін, 6-10 кВ тарату электр берілістерінің шиналарына жақын бекіту құрылымдарын жасау.

5 Сезімталдықты, өнімділікті және тиімділікті бағалау, қамыс қосқыштарында максималды ток қорғауы.

Ғылыми ережелердің, тұжырымдар мен ұсыныстардың дұрыстығы мен сенімділігі: релелік қорғаудың фундаменталды ережелерін, электротехниканың теориялық негіздерін және механизмдер мен машиналарды жобалау негіздерін, сонымен қатар 6-10 кВ тарату қондырғыларындағы далалық тәжірибелерді сауатты қолдану арқылы расталады. Scopus негізінде импакт-факторы 4 бар журналда жариялау түріндегі геркон мен тестілеудің дамыған релесімен, Қазақстан Республикасының 3 патентімен, Ресей Федерациясының 3 патентімен және 3 конференцияда баяндама жасайды, олардың бірі шетелдік.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

1. Қамырды ауыстырып-қосқыштарда қалқандар салу теориясы жасалды:

- а) 6-10 кВ әртүрлі таратқыштардың ішіндегі әртүрлі режимдер мен нүктелердегі магнит өрістерінің индукциясын өлшеуге негізделген. электрлік қондырғылардағы интерфазалық қысқа тұйықталуларды анықтауға олардың мәні жетерліктей екендігі дәлелденді және осы индукциялардың қарастырылатын коммутация ішіндегі қамыс қосқышының жағдайына тәуелділігі анықталды;
- б) егер оларды есептеу үшін био-Савард-Лаплас заңының қарапайым формуласын қолдануға болатындығы көрсетілген, егер оған осы қондырғыдағы тәжірибелер нәтижесінде алынған коэффициент қоссақ;
- в) 6-10 кВ тарату қондырғыларындағы қамыс қосқыштарындағы МТЗ параметрлерін есептеу процедурасы жасалды, ол осы формуланы қолдана отырып, белгілі болғаннан айырмашылығы және таратқыштың металл бөліктеріндегі токтардың кедергілерінің әсерін ескереді;
- г) қамыс қосқыштарындағы ұсынылған кері ток сүзгісінің параметрлерін есептеу әдісі;
- д) шығыс тізбегін блоктау кезінде қамысты ауыстырып-қосқышты басқару

орамасына ток беруден тұратын токтың қорғанысын сынау және функционалды диагностикалау әдісі ұсынылған.

2. Сынақ диагностикасы бар бір максималды реле, ал екіншісі функционалды диагностика, сонымен қатар ток қорғанысының жұмысының параметрлерін қашықтықтан басқару мүмкіндігі бар таратқыш шиналардың жанында қамыс қосқышты орнатуға мүмкіндік беретін екі құрылғы жасалды және патенттелді. Біріншісі белгілі орамалардан басқару орамасының және іске қосу батырмасының, екіншісінде конденсаторлар мен аралық релелердің болуымен ерекшеленеді. Үшіншісі - белдік жетегі бар сатылы электр қозғалтқышының болуы, төртіншісі - екі бағытта қозғалатын қамыс қосқыштары мен табақшалары бар қораптар.

Жаңа ғылыми нәтижелер:

1. Коммутатор ішіндегі магнит өрісінің индукциясының мөлшері 6-10 кВ екендігі дәлелденді. электр қондырғыларындағы қамыс қосқыштардың көмегімен интерфазалық қысқа тұйықталуларды анықтауға жеткілікті.

2. Қаралып жатқан коммутация ішіндегі магнит өрісінің индукциясын есептеу үшін, егер оған жүргізілген эксперименттер нәтижесінде алынған түзету коэффициентін енгізсе, Био-Савард-Лаплас заңын қарапайым формада жазуға болады.

3. Электр қондырғыларына арналған қамыс қосқыштардағы MTZ параметрлерін таңдау және аталған сүзгінің параметрлерін есептеу әдістері жасалды.

4. Ақаулардың функционалды диагностикасы және сынақтары бар жоғарыда аталған екі кернеу релесі және оларды бекітуге арналған екі дизайн жасалды.

Ғылыми нәтижелердің практикалық маңыздылығы:

1. Сынақтары бар ток трансформаторларын және ақаулардың функционалды диагностикасы бар релелерді қолданбай, қамыс қосқыштарындағы ресурстарды үнемдейтін ток релесі жасалды, бұл олардың көмегімен орындалған ағымдағы қорғаудың сенімділігін арттырады.

2. Сынақ диагностикасы ұсынылған реле қысқа мерзімді кедергілермен және байланыстардың жабысқанымен жұмыс істей алмайды және функционалды ақаулар диагностикасы бар кері тізбектегі ток сүзгісі болады, оны ерекше сезімтал және сенімді ток қорғанысын жасауға пайдалануға болады.

3. Кернеуі 6-10 кВ болатын коммутациялық қондырғыдағы қамыс қосқыштардағы MTZ параметрлерін есептеудің өзіндік және көрші қосқыш қондырғыларындағы металл бөліктеріндегі токтардың кедергілерінің әсерін және аталған сүзгіні есептеу әдісін әзірлеу рәсімі жасалды.

4. Коммутациялық қондырғылар үшін қашықтан басқарылатын қамыс қосқыштардағы MTZ құрылғысы құрылды, бұл электр қондырғысын өшірмей жұмыс параметрлерін реттеуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың практикалық құндылығы.

1. 6-10 кВ комплекттік тарату қондырғының ішіндегі магнит өрістерінің индукциясы екендігі дәлелденді. Ағымдық қорғаудағы қамыс қосқыштардың жұмысы үшін жеткілікті және осы индукцияларды есептеу үшін алынған коэффициентті енгізе отырып Био-Савар-Лаплас заңының формуласын қолдануға болады.

2. Геркондағы дамыған шамадан ток релелер белгілі болғанға қарағанда анағұрлым жетілдірілген, өйткені олардың артықшылығы бар, біреуі ақаулар жағдайында қарапайым сынақ диагнозының болуымен, екіншісі қысқа мерзімді ақаулар жағдайында жұмыс істемеуімен, үшіншісі функционалды диагностиканың болуына байланысты.

3. Геркондарды орнатуға арналған дизайн электр қондырғысын ажыратпастан және жауап беру параметрлерін реттеуге мүмкіндік береді.

4. МТҚ параметрлерін әзірленген реледе есептеудің ұсынылған әдісі бізге коммутациялық қондырғы ішіндегі қамыс қосқыштарды орнатудағы қателіктерді және қорғалған және іргелес қосылыстар фазаларындағы токтардың әсерін және, ең бастысы, олардың металл бөліктеріне индукцияланған токтардың әсерін ескеруге мүмкіндік береді.

5. Ақаулық диагнозы бар теріс тізбектегі ток сүзгісін есептеу әдістемесі оларды жүзеге асыруды жеңілдетеді.

Қорғауға ұсынылады:

1. Тестік және функционалды ақаулардың диагностикасы мен екі максимал ток релелері.

2. Магнит өрісінің индукциясын есептеу үшін формула, осы индукциялардың коммутация ұяшығындағы геркон жағдайына тәуелділігі.

3. Параметрлерді есептеу әдістері: а) 6-10 кВ тарату құрылғыларының максималды қорғанысы, индукцияны есептеу формуласын қолдану және көрші ұяшықтарының кедергі әсерін ескеру; б) ақаулық диагностикасы бар кері тізбектегі ток сүзгісі.

4. Геркондағы ток қорғанысын тестік және функционалды диагностика әдісі, сонымен қатар таратқыш қондырғыларының шиналарына жақын жерде герконды орнатуға арналған екі құрылғы.

Жұмыс нәтижелерін енгізу. «ПРЭК» АҚ (Павлодар қ.) электр тарату қондырғысында ағымдағы қорғаныс құралын енгізуге келісім алынды.

Жұмыстың сыналуды. Диссертацияның негізгі ережелері «XVIII Сәтпаев оқулары» Халықаралық ғылыми конференциясында (Павлодар, 2017 ж.), «Х Торайғыров оқулары» (Павлодар, 2018 ж.), «Ғылымның өзекті мәселелері» 47-ші Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясында (Мәскеу, 2019) баяндалды.

Жарияланымдар. Зерттеу нәтижелері 11 ғылыми жұмыста жарияланды: Scopus мәліметтер базасына енгізілген журналдағы бір мақала: ККСОН ұсынған жарияланымдарда 7 мақала, оның ішінде Қазақстан Республикасының өнертабысына 3 патент, Ресей Федерациясының өнертабысына 3 патент, оның ішінде 2 «Web of Science» базасына енгізілді; 3 халықаралық ғылымконференция материалдары, соның ішінде 1 шетелдік конференция

материалдары. Бірлескен авторлық басылымдарда өзіндік жеке үлесі 80% құрайды, ал мақалада [55] - 30%.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, үш бөлімнен, қорытындыдан және төрт қосымшадан тұрады. Жұмыс компьютерлік мәтіннің 95 бетінде, 45 суреттен тұрады. Пайдаланылған дереккөздердің тізімі 73 тармақтан тұрады.

Бірінші тарауда «Қолданыстағы қорғаныстарды талдау» ферромагниттік өзегі бар трансформаторлардан алынған дәстүрлі қорғаныс, ток трансформаторлары жоқ әртүрлі түрлендіргіштердегі ток қорғаныстары, магниттік ток трансформаторлары, роговски датчиктері, магнеторезисторлар, магнитодиоттар және магнетотрансисторлар, холл датчиктері және индукциялық орамалар туралы. Геркон электр жүйелерінің элементтерінің ағымдағы қорғанысы толық сипатталған. Релелік қорғаныс үшін геркон маңызды артықшылықтары көрсетілген. Олардың артықшылығы басқа магнитті сезімтал элементтермен салыстырғанда берілді. Олар 6-110 кВ электр қондырғыларының релелік қорғанысында пайдалану үшін жеткілікті сезімталдыққа ие екендігі көрсетілген. Параметрлерді таңдау арқылы геркон максималды токтың қорғанысы ұсынылған, өздігінен және әртүрлі кедергілерден назар аударылған. Геркон қорғау әдістері, оның ішінде релелік тізбектер мен оларды бекітуге арналған құрылымдар көрсетілген. Релелік қорғаныс үшін тесттік және функционалдық ақаулар диагностикасы маңыздылығы атап өтілген. Ақаулық диагностикасы бар кейбір тізбектерге талдау жасалады. Тараудың тұжырымдары зерттеу барысында тестік және ақаулардың функционалды диагностикасы бар және комплектік тарату қондырғыларында қарапайым токтың қорғаныс құрылғыларын жасауға және ауыспалы тордың ішіндегі магниттік өрістердің таралуын анықтауға ерекше назар аудару керектігін көрсетеді.

Екінші тарауда «Ақаулық диагностикасы бар геркондық токтың қорғаныс тізбектерін және тарату қондырғыларын 6-10 кВ ішінде оларды орнатуға арналған құрылымдарды құру», тестік диагностикасы бар геркондағы ресурстарды үнемдейтін ток релелері қарастырылған: импульстік есептегіш және тестік диагностикасы бар релелік тізбек, сынақ диагностикасы жоқ релелік тізбек. қысқа мерзімді кедергілермен және байланыстарды жабыстырумен қажетсіз жұмыс істеу. Тестік диагностикасы түймені басу арқылы және геркон орамасына айнаымалы ток қолдану арқылы жүзеге асырылады (электр қондырғысының шинасының астында орнатылған).

Геркон және басқа реле іске қосылған кезде кернеудің толқындық құрылымы бар шуылға төзімді реленің зертханалық қондырғысында жасалған эксперименттік тексерудің нәтижелері келтірілген. Функционалды диагностикасы бар геркон ток қорғау құрылғыларының тізбектері талданады. Электр тізбегінің ерекшелігі - ол әр 2 минут сайын тестік сигналын береді. Геркон мен индуктивтік орамен кері тізбектегі токтар фильтрінің функционалды диагностикасы бар схема ұсынылған. Белгілі сүзгінің тізбегі қайталанады және

екі орамасы бар бір геркон пайдаланып, электр қондырғысының шиналарының астына орнатылған сүзгінің екі герконбасқару орамындағы кернеуді басқарады.

6-10 кВ тарату қондырғыларында қамыс қосқыштарын орнатудың ұсынылған конструкциялары сипатталған. Конструкциялардың біреуінің ерекшелігі - оны қорғаныс параметрлерін автоматты түрде түзету үшін қолдануға болады, ал екіншісі - шиналарға қатысты герконды екі бағытқа жылжыту үшін. Кері тізбектегі ток сүзгісінің прототипінің коммутациялық шиналар маңында орналасуының фотосуреті ұсынылған. Қорытындылар ақаулық диагностикасы бар геркон жасалған реле қарапайым, тиімді және жеткілікті жылдамдыққа ие екендігін көрсетеді.

Үшінші тарауда «Қорғаныс параметрлері дамыған релелік және кері тізбектегі ток сүзгісі» 6-10 кВ тарату құрылғысында магнит өрістерін есептеу ерекшеліктері берілген. Осы мақсаттар үшін Био-Савар-Лаплас заңын тәжірибе жүзінде алынған коэффициенттерді енгізе отырып қарапайым түрде қолданған жөн екендігі көрсетілген. Самара мемлекеттік техникалық университетінде жүргізілген электр таратқыштарда магниттік өрістерді есептеу үшін Био-Савар-Лаплас заңын қолдану тәжірибелерінің нәтижелері талданады. Қазақстанда кеңінен таратылатын электр таратқыштардың жасушалары сипатталған, олардың арасында магнит өрісінің индукциясының таралуын анықтау үшін тәжірибелер жүргізілген.

Олардың релелік қорғанысты құру үшін олардың (индукцияның) мөлшері жеткілікті екендігі көрсетілген. Тәжірибелік қондырғы қарастырылады. Әртүрлі кедергілердің әсерін бағалайтын коэффициенттер, соның ішінде көрші тарату қондырғыларындағы токтар тудыратын коэффициенттер анықталған.

Тарату қондырғыларында натурлық эксперименттер жүргізу үшін ұсынылған әдістемесі келтірілген. МТҚ параметрлерін геркондағы дамыған релемен таңдау әдістемесі және таңдау мысалы келтірілген. Көршілес тарату қондырғыларың әртүрлі қысқа тұйықталу жағдайында зерттеулерде магнит өрістерінің индукциясының шамасын анықтауға ерекше көңіл бөлінеді.

Үшбұрыштың шыңдарында және көлденең орналасуында қорғалған электр қондырғысының фазаларын орналастырумен кері тізбектегі токтардың сүзгі параметрлерінің есебі келтірілген. Бұл жағдайда нөлдік тізбекті токтардың болмауын қамтамасыз ететін координаттарды таңдауға ерекше назар аударылады. Көлденең фазалық орналасуы бар кері тізбектегі токтардың фильтрін эксперименттік зерттеулер сипатталған, бұл толқындардың жұмыс істеуін растайды. Импульстік есептегіш релесі бар ағымдағы қорғаныс құрылғысын енгізу және параметрлерді автоматты түрде реттеу жылына 902 мың тенге экономикалық тиімділік әкелуі мүмкіндігін көрсетілген. Қорытындылар әр түзеткіш үшін түзету коэффициенттерін экспериментальды түрде анықтау керектігін көрсетеді, ал магнит өрістерінің таралуын анықтайтын әзірленген әдістеме әр таратқыш құрылғыларға ұсынылуы мүмкін.

Жұмыстың нәтижелері:

Жұмыстағы міндеттер шешілді: ақаулық диагностикасы бар ток релесін, токтың жаңа құрылғылары мен конструкцияларын және геркон кері тізбектегі

токтардың фильтрін есептеу әдістері, сонымен қатар 6-10 кВ электр қондырғылары үшін электр қондырғылары үшін ұяшық ішіндегі магнит өрісінің таралуын эксперименталды зерттеу. Жұмыстың нәтижелері:

1 Геркондағы қорғаныс теориясы жасалды:

а) әр түрлі режимдегі және 6-10 кВ таратқыштың ішіндегі нүктелердегі магнит өрісінің индукциясын өлшеуге негізделген. электрлік қондырғылардағы интерфазалық қысқа тұйықталуларды анықтауға олардың мәні жетерліктей екендігі дәлелденді және осы индукциялардың қарастырылатын коммутация ішіндегі геркон жағдайына тәуелділігі анықталды;

б) егер оларды есептеу үшін Био-Савар-Лаплас заңының қарапайым формуласын қолдануға болатындығы көрсетілген, егер оған осы қондырғыдағы тәжірибелер нәтижесінде алынған коэффициент қоссақ;

в) 6-10 кВ тарату қондырғыларындағы геркондағы МТҚ параметрлерін есептеу әдістемесі жасалды, ол осы формуланы қолдана отырып, белгілі болғаннан айырмашылығы және таратқыштың металл бөліктеріндегі токтардың кедергілерінің әсерін ескереді;

г) геркон ұсынылған кері ток сүзгісінің параметрлерін есептеу әдісі;

д) шығыс тізбегін блоктау кезінде геркондағы басқару орамасына ток беруден тұратын токтың қорғанысын тестік және функционалды диагностикалау әдісі ұсынылған.

2 Тестік диагностикасы бір максималды реле жасалды және патенттелді, екіншісі функционалды, сонымен қатар ток қорғанысы жұмысының параметрлерін қашықтан басқару мүмкіндігі бар қосқыштың жанында геркон орнатуға мүмкіндік беретін екі құрылғы бар.

АННОТАЦИЯ

диссертации Исабекова Даурена Джамбуловича «Разработка герконовых ресурсосберегающих токовых защит с диагностикой неисправностей», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика»

Актуальность

Одной из принципиально нерешенных проблем электроэнергетики считается построение релейной защиты высоковольтных установок без использования традиционных трансформаторов тока (ТТ), о чем не раз упоминалось на международных конференциях по большим энергетическим системам (CIGRE). Дело в том, что трансформаторы тока весьма металлоемки и громоздки, имеют дорогую изоляцию и другие недостатки. В ПГУ им. С. Торайгырова профессором Клецелем М.Я. и его многочисленными учениками, а также россиянами Горюновым В.Н., Гуревичем В.И. и Шоффов В.Н. в течение нескольких десятилетий разрабатывались защиты без использования ТТ на магнитоуправляемых контактах-герконах. Герконы были выбраны в связи с тем, что они обладают рядом важных для релейной защиты преимуществ по сравнению с другими магниточувствительными элементами. Уже разработаны принципы построения токовых, дифференциальных, дифференциально-фазных и дистанционных защит (получено более 100 патентов и 30 публикаций в московских журналах и в базах Scopus). Однако для целого ряда электроустановок не рассматривались вопросы, касающиеся самой возможности использования герконов для построения защит, их установки вблизи токоведущих шин на безопасном расстоянии, расчета параметров реле и уставок срабатывания защит, оценки их чувствительности, работоспособности и обеспечения надежности. Да и разработанные устройства на герконах в подавляющем большинстве не оборудованы ни тестовой диагностикой неисправностей, ни функциональной, хотя в настоящее время такой способ повышения надежности в технике релейной защиты считается почти обязательным.

В настоящей работе сделана попытка решить затронутые вопросы при разработке герконовых токовых защит электроустановок, питающихся от комплектных распределительных устройств (КРУ) напряжением 6-10 кВ. Эти установки выбраны в связи с тем, что они очень широко распространены в электроэнергетике.

Объектом исследования является релейная защита электроустановок.

Предмет исследования – являются герконовые ресурсосберегающие токовые защиты с диагностикой неисправностей для электроустановок, питающихся от КРУ 6-10 кВ.

Связь темы диссертации с общенаучными (государственными) программами. Работа выполнялась в соответствии с научными направлениями международного (Европейского) исследовательского комитета В5 «Релейная защита и автоматика» международной организации CIGRE, а также в рамках

выполнения бюджетной программы «Развитие науки», по подпрограмме «Грантовое финансирование научных исследований» проекта «Создание глобально конкурентноспособной ресурсосберегающей релейной защиты систем электроснабжения», финансируемой АО «Фонд науки» Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Цель работы – разработка герконовых ресурсосберегающих токовых защит с диагностикой неисправностей для электроустановок с КРУ 6-10 кВ.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1 Построение помехоустойчивого реле максимального тока на герконах с тестовой диагностикой неисправностей, реле и фильтра тока обратной последовательности с функциональной диагностикой неисправностей.

2 Определение величины индукции магнитных полей внутри ячейки КРУ напряжением 6-10 кВ, коэффициента, необходимого для введения в формулу Био-Савара-Лапласа, чтобы использовать ее при расчётах.

3 Разработка методик выбора тока срабатывания герконовой максимальной токовой защиты, устанавливаемой в КРУ, и параметров фильтра тока обратной последовательности.

4 Разработка конструкций для крепления вблизи токоведущих шин КРУ 6-10 кВ, обеспечивающих дистанционное регулирование уставок МТЗ.

5 Оценка чувствительности, работоспособности и экономичности, предложенной максимальной токовой защиты на герконах.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: грамотным использованием фундаментальных положений релейной защиты, теоретических основ электротехники и основ конструирования механизмов и машин, а также натурными экспериментами в КРУ 6-10 кВ. с разработанными реле максимального тока на герконах и апробацией в виде публикаций в журнале с импакт-фактором 4 по базе Scopus, 3 патентов Республики Казахстан, 3 патентов Российской Федерации и докладами на 3 конференциях, одна из которых зарубежная.

Научная новизна работы:

1. Развита теория построения защит на герконах: а) на основе измерения индукции магнитных полей в разных режимах и точках внутри КРУ 6-10 кВ. доказано, что их величины достаточны для выявления междуфазных коротких замыканий в электроустановках, питающихся от этих КРУ и найдены зависимости этих индукций от положения геркона внутри рассматриваемого КРУ; б) показано, что для их расчёта можно использовать простейшую формулу закона Био-Савара-Лапласа, если внести в нее коэффициент, полученный в результате экспериментов в этом КРУ; в) создана методика расчета параметров МТЗ на герконах для КРУ 6-10 кВ, отличающаяся от известных использованием этой формулы и учётом влияния помех от токов в металлических частях КРУ; г) разработан метод расчёта параметров для предложенного фильтра тока обратной последовательности на герконах; д) предложен способ тестового и функционального диагностирования токовых

защит на герконах, заключающийся в подаче тока в обмотку управления геркона с одновременной блокировкой выходной цепи.

2. Созданы и запатентованы одно максимальное реле с тестовой диагностикой, а другое с функциональной, а также два устройства, позволяющие крепить геркон вблизи шин КРУ с возможностью дистанционного регулирования уставок срабатывания токовых защит. Первое отличается от известных наличием обмотки управления и пусковой кнопки, а второе ещё и конденсаторами и промежуточными реле. Третье-наличием шагового электродвигателя с ременной передачей, четвертое коробками с герконами и пластинами, перемещающимися в двух направлениях.

Новые научные результаты работы:

1. Доказано, что величина индукции магнитного поля внутри КРУ 6-10 кВ. достаточна для выявления с помощью герконов междугазных коротких замыканий в электроустановках, питающихся от неё.

2. Для расчетов индукций магнитного поля внутри рассматриваемого КРУ можно пользоваться формулой записи закона Био-Савара-Лапласа в простейшей форме, если внести в нее поправочный коэффициент, полученный в результате экспериментов, проведенных в ней.

3. Разработаны методики выбора уставок МТЗ на герконах для электроустановок с КРУ и расчёта параметров упомянутого фильтра.

4. Созданы два выше указанных реле максимального тока с тестовой и функциональной диагностикой неисправностей и две конструкции для их крепления.

Практическая значимость научных результатов:

1. Разработано ресурсосберегающее токовое реле на герконах без использования трансформаторов тока с тестовой и реле с функциональной диагностикой неисправностей, что повысит надежность выполняемых с их помощью токовых защит.

2. Предложенное реле с тестовой диагностикой, способно не срабатывать при кратковременных помехах и залипании контактов, и фильтр тока обратной последовательности с функциональной диагностикой неисправностей, которые может служить для построения особо чувствительных и надежных токовых защит.

3. Созданы методика расчёта параметров МТЗ на герконах в КРУ напряжением 6-10 кВ, учитывающая влияние помех от токов в металлических частях в своем и соседнем КРУ, и методика расчета упомянутого фильтра.

4. Для КРУ создано устройство МТЗ на герконах с дистанционным регулированием уставок, что позволяет не отключая электроустановку перестраивать уставки срабатывания.

Практическая ценность работы.

1. Доказано, что индукции магнитных полей внутри КРУ 6-10 кВ. достаточны для срабатывания герконов в токовых защитах, а для расчета этих индукций можно пользоваться формулой закона Био-Савара-Лапласа, с введением в него полученного коэффициента.

2. Разработанные реле максимального тока на герконах более совершенны в сравнении с известными, так как они обладают преимуществами, одно из-за наличия простого тестового диагностирования при неисправностях, второе еще и не срабатыванием при кратковременных неисправностях, третье за счет наличия функциональной диагностики.

3. Созданная конструкция для крепления герконов позволяют дистанционно и без отключения электроустановки регулировать уставку срабатывания.

4. Предложенная методика расчета параметров МТЗ на разработанных реле позволяет учесть погрешности установки герконов внутри КРУ и влияние токов в фазах защищаемого и соседних присоединений, и, что очень важно, влияние наведенных токов в их металлических частях.

5. Разработанная методика расчета фильтра тока обратной последовательности с диагностикой неисправностей позволяет достаточно просто их реализовать.

К защите представляются:

1. Два реле максимального тока с тестовой и функциональной диагностикой неисправностей.

2. Формула для расчёта индукций магнитных полей с зависимостями этих индукций от положения геркона внутри ячейки КРУ.

3. Методика расчета параметров: а) максимальной токовой защиты КРУ 6-10 кВ. с использованием формулы расчёта индукции и учётом влияния помех от соседних ячеек; б) фильтра тока обратной последовательности с диагностикой неисправностей.

4. Способ тестового и функционального диагностирования токовых защит на герконах, а также два устройства крепления геркона вблизи шин ячейки КРУ.

Реализация результатов работы. Получено согласие на внедрение устройства токовой защиты в ячейке КРУ на АО ПРЭК (Павлодар).

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Международной научной конференции «XVII Сатпаевские чтения» (Павлодар, 2017), «X Торайгыровские чтения» (Павлодар, 2018), 47-я Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы науки» (Москва, 2019).

Публикации. Результаты исследований опубликованы в 11 научных трудах: одна статья в журнале входящим в базу Scopus: 7 публикаций в изданиях, рекомендуемых ККСОН, среди которых 3 патента на изобретение Республики Казахстан, 3 патента на изобретение Российской Федерации, из них 2 вошедших в базу «Web of Science»; 3 публикации в материалах международных конференций, в том числе 1 в материалах зарубежной конференции. В публикациях в соавторстве личный вклад соискателя составляет 80%, а в статье [55] – 30%.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трёх разделов, заключения и четырех приложений. Работа изложена на 95 страницах

компьютерного текста, включает 45 рисунков. Список использованных источников состоит из 73 наименований.

В первой главе «Анализ существующих токовых защит» рассмотрены традиционные защиты, получающие информацию от трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками, токовые защиты на различных преобразователях без трансформаторов тока: на магнитных трансформаторах тока, датчиков Роговского, на магниторезисторах, на магнитодиодах и магнитотранзисторах, на датчиках Холла и на катушках индуктивности. Подробно описаны токовые защиты элементов электрических систем на герконах. Указаны важнейшие достоинства геркона для релейной защиты. Даны их преимущества в сравнении с другими магниточувствительными элементами. Показано, что они обладают достаточной чувствительностью для использования в релейной защите электроустановок 6-110 кВ. Представлено выполнение максимальной токовой защиты на герконах с выбором уставок, обращено внимание на отстройку от самозапуска и различных помех. Указаны способы выполнения защит на герконах, включая схемы реле и конструкции для их крепления. Подчеркнуто значение тестовой и функциональной диагностики неисправностей для релейной защиты. Проанализированы некоторые схемы с диагностикой неисправностей. В выводах главы указывается, что особое внимание при исследованиях должно быть уделено разработке простых устройств токовых защит на герконах с тестовой и функциональной диагностикой неисправностей и определению распределения магнитных полей внутри ячейки КРУ.

Во второй главе «Разработка схем токовых защит на герконах с диагностированием неисправностей и конструкций для их крепления в КРУ 6-10 кВ» рассмотрены ресурсосберегающие реле тока на герконах с тестовым диагностированием: схема реле со счетчиком импульсов и тестовой диагностикой, схема реле с тестовой диагностикой не работающая излишне при кратковременных помехах и залипании контактов. Тестовая диагностика осуществляется нажатием кнопки и подачей переменного тока в обмотку геркона (установленного под шиной электроустановки).

Представлены результаты экспериментальной проверки на разработанной лабораторной установке предлагаемого помехоустойчивого реле с осциллограммами напряжений при срабатывании геркона и других реле. Проанализированы схемы устройств токовой защиты на герконах с функциональной диагностикой. Особенностью схемы является то, что она подает тестирующий сигнал, через каждые 2 минуты. Предлагается схема с функциональной диагностикой фильтра токов обратной последовательности на герконах и катушках индуктивности. Схема известного фильтра дублируется и с помощью одного геркона с двумя обмотками контролирует напряжение на обмотках управления двух герконов фильтра, установленных под шинами электроустановки.

Описаны предлагаемые конструкции для крепления герконов в КРУ 6-10 кВ. Особенностью одной из конструкций является то, что с ее помощью можно

автоматически регулировать уставки защиты, а второй- перемещать герконы относительно шин электроустановки в двух направлениях. Представлена фотография расположения опытного образца фильтра токов обратной последовательности вблизи шин КРУ. В выводах указывается, что разработанные реле на герконах с диагностикой неисправностей просты, работоспособны и обладают достаточным быстродействием.

В третьей главе «Параметры защит с разработанным реле и фильтром тока обратной последовательности» представлены особенности расчета магнитных полей в КРУ 6-10 кВ. Показано, что предпочтительней для этих целей использовать закон Био-Савара-Лапласа в простейшей форме с введением полученных экспериментально коэффициентов. Проанализированы результаты экспериментов по использованию закона Био-Савара-Лапласа для расчетов магнитных полей в КРУ, проведенных в Самарском государственном техническом университете. Описаны широко применяемые ячейки КРУ в Казахстане, на которых проводились эксперименты по определению распределения индукции магнитных полей внутри КРУ.

Показано, что они (индукции) имеют достаточную величину для построения релейной защиты. Рассмотрена схема экспериментальной установки. Определены коэффициенты, оценивающие влияние различных помех, в том числе создаваемых токами в соседних КРУ.

Представлена рекомендуемая методика проведения натурных экспериментов в комплектных распределительных устройствах. Дана методика выбора уставок МТЗ с разработанным реле на герконах и пример выбора. Особое внимание уделено определению величины индукции магнитных полей в исследованиях, при различных коротких замыканиях в соседних ячейках.

Дан расчет параметров фильтра токов обратной последовательности при расположении фаз защищаемой электроустановки по вершинам треугольника и при горизонтальном расположении. При этом особое внимание уделено выбору координат, обеспечивающих отсутствие токов нулевой последовательности. Описаны экспериментальные исследования представленного фильтра токов обратной последовательности при горизонтальном расположении фаз, подтверждающий осциллограммами свою работоспособность. Показано, что внедрение устройства токовой защиты с реле со счетчиком импульсов и автоматическим регулированием уставок может принести экономический эффект 902 т. тенге в год. В выводах отмечается, что поправочные коэффициенты необходимо определять экспериментально для каждого КРУ, а разработанную методику определения распределения магнитных полей можно рекомендовать для любых КРУ.

Результаты работы сводятся к следующему:

В работе решены задачи: разработки реле тока с диагностикой неисправностей, новых устройств и конструкций токовых защит и методов расчёта фильтра токов обратной последовательностей на герконах, а также экспериментального исследования распределения магнитного поля внутри

ячейки для электроустановок с КРУ 6-10 кВ. Результаты работы сводятся к следующему:

1 Развита теория построения защит на герконах:

а) на основе измерения индукции магнитных полей в разных режимах и точках внутри КРУ 6-10 кВ. доказано, что их величины достаточны для выявления междуфазных коротких замыканий в электроустановках, питающихся от этих КРУ и найдены зависимости этих индукций от положения геркона внутри рассматриваемого КРУ;

б) показано, что для их расчёта можно использовать простейшую формулу закона Био-Савара-Лапласа, если внести в нее коэффициент, полученный в результате экспериментов в этом КРУ;

в) создана методика расчета параметров МТЗ на герконах для КРУ 6-10 кВ, отличающаяся от известных использованием этой формулы и учётом влияния помех от токов в металлических частях КРУ;

г) разработан метод расчёта параметров для предложенного фильтра тока обратной последовательности на герконах;

д) предложен способ тестового и функционального диагностирования токовых защит на герконах, заключающийся в подаче тока в обмотку управления геркона с одновременной блокировкой выходной цепи.

2 Созданы и запатентованы одно максимальное реле с тестовой диагностикой, а другое с функциональной, а также два устройства, позволяющие крепить геркон вблизи шин КРУ с возможностью дистанционного регулирования уставок срабатывания токовых защит.