УДК: 005.584.1+681.518.5;621.314.21

ТРАНФОРМАТОРДОГУ ҮЗГҮЛТҮКСҮЗ ЗАРЯДДАРДЫН ТҮЗҮЛҮШҮ АБАЛЫНА КАРАТА ОН-ЛАЙНДЫК МОНИТОРИНГ ЖҮРГҮЗҮҮ ЖАНА БУЗУЛУШТАРЫНА ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫК ДИАГНОЗ КОЮУНУН ЖАҢЫ ЫКМАЛАРЫН ИЗИЛДӨӨ

Нургазы Жумалы, *т.и.к, КНР Синьцзянь университети электротехникалык институту, ktunr@rambler.ru.*
Туйгун Сабатарович Борукеев*, т.и.к. И. Раззаков атындагы КМТУ ,720044, Бишкек ш, Ч.Айтматов пр. 66, Энергетика факультети, “Электромеханика”каф. доценти. tuigun_ktu@rambler.ru*

Улукбек Абдукалыкович Калматов*, аспирант, Энергетика факультети, “Электроэнергетика” кафедрасы, И. Раззаков атындагы КМТУ ,720044, Бишкек ш, Ч.Айтматов пр. 66, ukalmatov@bk.ru*

Негизги мазмуну (макаланын максаты): Бул макалада жогору чыңалуудагы трансформаторлордогу (PD) жышаандары жана бузулуштардын механизминин, PD жышаандарын чубалгыда ченөө жана бузулуштарына автоматтык диагноз коюу системасынын негизинде бузулуштан келип чыккан ар түрдүү PD жышаандарына карата интеллектуалдык аныктоонун жаңыча ыкмалары изилденген.

Аныктоочу сөздөр: PD жышаандар ; Кедергилерди тозуу ; Адаптивдик алгоритим; Өзгөчө белгилерин алуу ; Бейнесин таануу (распознавания) (Pattern Recognition) ; чубалгыны ченөө ; Интеллектуалдык аныктоо.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ОНЛАЙНОВОГО МОНИТОРИНГА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ТРАНСФОРМАТОРЕ

Нургазы Жумалы, *к.т.н. (Синьцзяньский Университет, Электротехнический институт, КНР),*

Борукеев Туйгун Сабатарович, *к.т.н., Кыргызский Государственный Технический Университет им. И.Раззакова 720044, Энергетический Факультет, г. Бишкек, пр.Ч.Айтматова 66, доцент., каф. «Электромеханика», tuigun_ktu@rambler.ru*

Калматов Улукбек Абдукалыкович, *аспирант, каф. «Электроэнергетика», Кыргызский Государственный Технический Университет им. И.Раззакова 720044, Энергетический Факультет, г. Бишкек, пр.Ч.Айтматова 66. ukalmatov@bk.ru.*

Аннотация: В данной статье рассмотрены новые методы исследования в интеллектуальной диагностике, возникновение частичных разрядов (PD) сигналов, трансформаторов высшего напряжения на основе автоматических измерений линии PD сигналов, диагностика дефектов возникающие в различных механизмов и их системы.

Ключевые слова: Частичный разряд; Подавление помех; Адаптивный алгоритм; Выделение признаков; Распознавание образов; Он-лайн мониторинга; Интеллектуальная диагностика

THE STUDY ON NEW METHOD OF ONLINE MONITORING AND INTELLIGENT FAULT DIAGNOSIS SYSTEM FOR PARTIAL DISCHARGE IN TRANSFORMER

Nuerhazi Zhumali. *Xinjiang university, College of Electrical Engineering, PHD (Engineering), China , 830046, e-mail:ktunr@rambler.ru,*

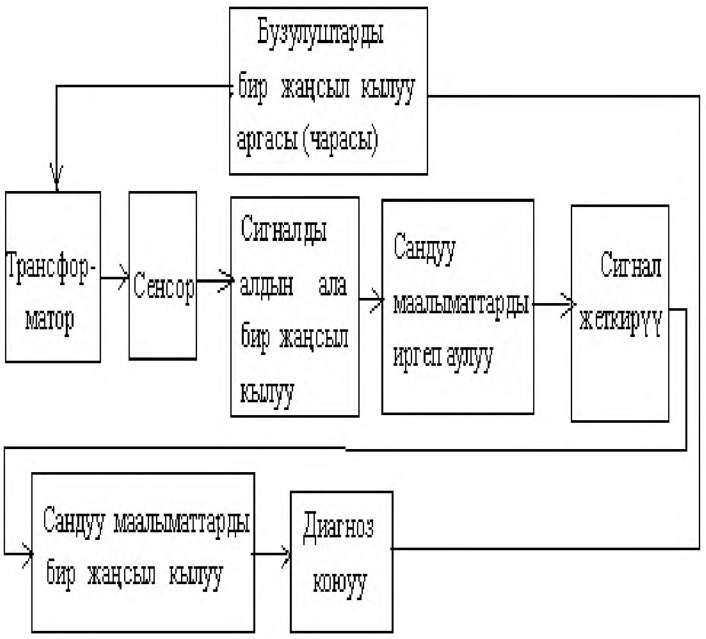
Tuygun Borukeev*, KSTU named, after I. Razzakov,* fac. *Power Engineering, tuigun_ktu@rambler.ru.*

Ulukbek Kalmatov, *graduate student of the Faculty of Energy, The department of, I. Razzakov. KSTU, 720044, Bishkek w, Chingiz Aitmatov pr. 66, ukalmatov@bk.ru*

Abstracts: In this paper, based on the analysis of the connection between the partial discharge fault symptom and the fault mechanism of the high-voltage transformer, the method of on-line monitoring and intelligent diagnosis of the partial discharge of the transformer is studied.

Keywords: Partial discharge; Interference suppression; Adaptive algorithm; Feature extraction; Pattern recognition; On-line monitoring; Intelligent diagnosis

Кириш сөз. Трансформатордун обочолоосунун (изоляция) бузулушунун себеби, негизинен муздатуучу майдын өтө ысып кетүүсүнөн, (Partial Discharge, PD), үзгүлтүксүз заряддардын түзүлүшүнүн пайда болуусу жана обочолоо материалдарынын нымдашып калуусунан болот. 220 кВ тон жогору болгон трансформатордун толук эмес бошонуудагы импульс белгисин ченөө аркылуу трансформатордун ички бөлүгүндөгү обочолоонун абалынын жакшы же жаман экендигине, канчалык даражада бузулгандыгына диагноз коюууга болот. Мисалы, эгер трансформатордун муздатуучу майында H_2, CH_4, C_2H_2, C_2H_6, CO сыяктуу өзгөчө газдар пайда болсо, анда PD сигналы байкалган болот. Мындай абалды билүүдө көбүнчө импульс-электрлик ыкма колдонулат. Бул аркылуу жабдуунун кемчилигин (defect), кайсы жерден бузулгандыгын билүүгө болот. Кезекте транформаторду чубалгыда коргоо жана бузулуштарына диагноз коюу ыкмасынын 6 түрүнүн ичинде, транформатордогу PD белгилерин чубалгыда коргоо жана бузуктугуна диагноз коюу системасы, орчундуу түрү болууда. Трансформатордогу PD жышаанын ар убак билип туруу, жүктүн жалпы тогун ченөө, короткон кубаттуулугу, бузулуштун кайсы орунда экендигин, транформатордун иштөө мөөнөтүн ж.б. абалдарын билип туруу, транформаторду техникалык тейлөөдө пайдалуу. Кезекте тийиштүү эң негизги чечүүчү маселе, кантип PD жышаандарынын айланадагы күчтүү электромагниттик жолтоолордон бөлүү, ошондой эле бузукту өз учурунда даана байкап, тез жойуу маселеси. Мындан башка PD жышаандарын кантип көптөгөн кедергилерден (интерференциялардан) коргоо, мисалы, мезгилдүү жолтоо белгилер, кокустук жолтоо жышаандарын иргеп алуу, диагностикадагы олуттуу маселе болуп эсептелинет. Эгер байкалган жышаандын кайсы үлгүгө таандык (Pattern recognition) экендигин айырмалай албаса, туура эмес жышаан берип коюу маселеси да көрүлөт. Бул маселелерди чечүү үчүн аппараттык ыкмалар жана программалык ыкмалар (*Hardware measures and Software measures*) колдонулат. Жолтоолор негизинен, электр чыңалуулардагы бузулуштардан, таажылык (корона) белгилерден (*Ccorona discharge*), энергетика системасындагы көтөргүч белгилеринин байланыштан (*Carrier communication*), жогору жыштыктагы релелик коргоо жышаандары, тиристордук жабдуулар (*Thyristor rectifier equipment*), зымсыз үналгы сыяктуулардан келет. *PD* жышаандарын ченеп, бузуктардын ордун белгилөөдө, электрдик импульс жана ультра үндүк ыкманы өз ара бириктирип, диагноз коюу ыкмасын колдонсок, жыйынтыгы жакшы болот. Бул макалада, чыныгы мисал аркылуу, компьютердик моделдөө негизинде, мурунку он-лайындык системалардын кемчилдиктерин жоюу жолдору, PD жышаандарын туура таануунун жетишсиздигинин айынан келип чыккан туура диагноз коё албастык маселеси, ар түрдүү кедергилерди жоюунун накта ыкмалары, жаңыча интеллектуалдык эксперттик системалар негизинде, жогору чыңалуудагы трансформатордун PD жышаандарын чыңалууда күзөтүү жана бузулуктугуна интеллектуалдык диагноз коюунун жаңыча системасы сунушталган.



Трансформатордогу үзгүлтүксүз заряддардын (*PD сигналдарын*) линияда ченөө системасынын түзүлүшү.

Бул системанын иштешинин негизги тартиби, сандуу маалыматтарды алуу, сактоо процессин (турпатын) анализдөө, сандуу маалыматтарды бир жаңсыл кылуу, бузулуштарды түрлөргө бөлүү, эксперттик системанын тажрыйбасы боюнча бузулуштардын ордун билүү, оңдоо долбоорун ортого салуу сыяктуулардан турат, жогорудагы 1-сүрөт.

Адаптивдүү процессор аркылуу тар тилкелүү кедергилерди жоюу.

Жойуунун 1-ыкмасы адаптивдүү процессорду (*Adaptive Processor*) колдонуу зарыл, анын түзүлүшү 2-сүрөттө көрсөтүлдү.

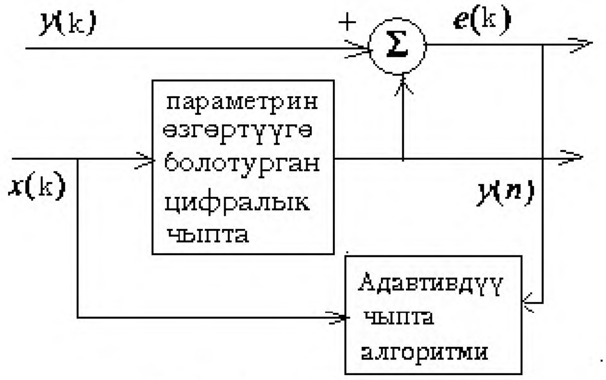
Белгилүү бир 500 кВ тук трансформаторду он-лайындык системада ченелип бир жаңсыл кылынгандан кийинки абалы, төмөндөгү 3-сүрөттө көрсөтүлдү, мында тез Фурьелик өзгөртүү (*Fast Fourier Transfor*, FFT) жана тескери Фурьелик өзгөртүү (IFFT) алып барган соң , накта PD белгисине ээ болууга болот, жолтоонун жыштыгы болсо 550kHz, 950kHz, 1100kHz.

Убакыт тилкеси (*Time Domain*) ичиндеги сигнал x(t) ни Фурьелик өзгөртүү (FT) жана жыштык тилкесинин сигналы X(ω) нын Фурьелик өзгөртүүнүн формуласы төмөндөгүдөй болот:

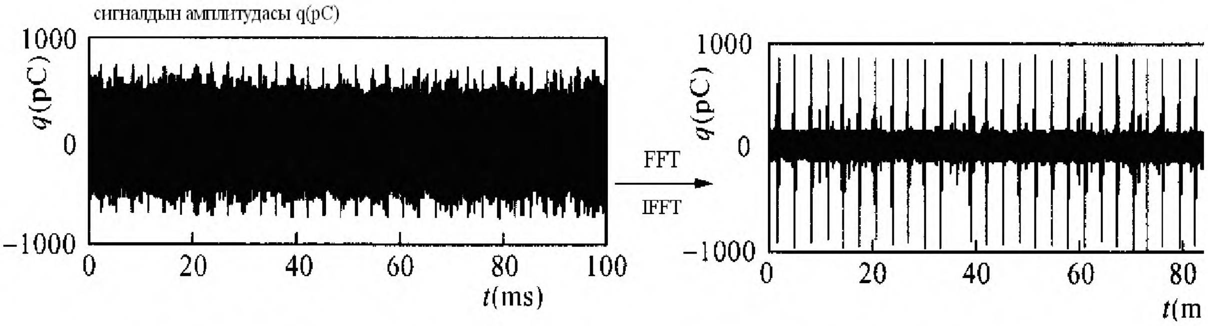
FTx (ω)=X(ω)=$\int_{-\infty}^{+\infty}\chi(t)e^{-\omega}dt$ (1);

$x(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}X(\omega)e^{j\omega t}d\omega$ (2);

Сүрөт 1. Трансформатордогу PD жышаандарын линияда ченөө системасынын түзүлүшү



Сүрөт 2. Адаптивдүү чыпканын (фильтрдин) түзүлүшү



Сүрөт 3. Трансформатордогу PD белгилерин линияда ченөө системасынын түзүлүшү

Вейвлет-анализ аркылуу тар тилкелүү бузулуштарды тыюу. Вейвлет-анализ ыкмасы(*Wavelet transform*, WT) импульстук жолтоо белгилеринен ажыратып алууга, анализдөөгө жана жолтоо жышаандары аркылуу кайсы бузулушка таандык экендигин билүүгө болот. Вейвлет функциясын төмөндөгү (3) формула аркылуу көрүүгө болот.

$$W_{s\cdot\tau(t)}=\frac{1}{\sqrt{s}}W\left[\frac{t-\tau}{s}\right] \quad (3);$$

Жогорудагы Вейвлет функциясына шайкеш оң жана терс өзгөртүүлөрдү (*transform)* төмөндөгү (4) жана (5) формула аркылуу көрүүгө болот.

$$a(s,\tau)=\frac{1}{\sqrt{s}}\int_{-8}^{+\infty}x(t)W_{s,\tau(t)}dt \quad (4);$$

$$x(t)=\frac{1}{c\omega}\int_{-8}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{a(s,t)W_{s,\tau(t)}}{S^2}dsd\tau \quad (5);$$

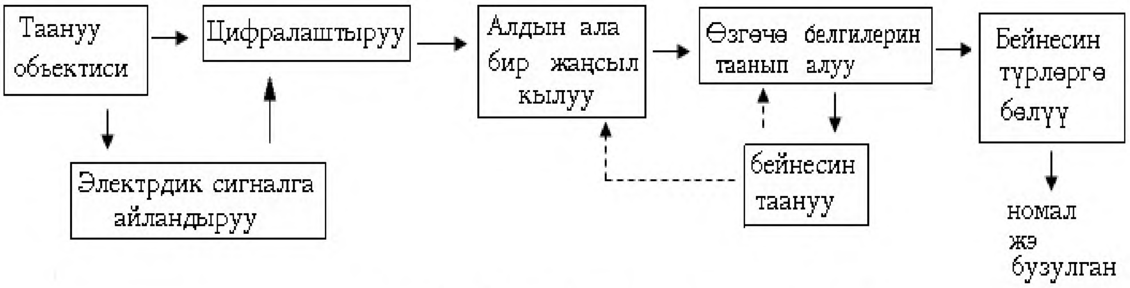
Импульстук жолтоолорду жоюуу. Импульстук жолтоолордун эки түрү бар: мезгил-мезгили менен болуучу импульстук жолтоо (*Impulse interference suppression*) жана кокустук импульстук жолтоо (*Stochastic pulse type interference suppression*). Кезекте жолтоолорду жоюунун кенен колдонулуп жаткан үч түрдүү формасы бар: убактылуу терезе ыкмасы (*Time Domain Windowing)*, BP алгоритимдик ыкма жана катмарлуу жойуу (тыйуу) ыкмасы.

Бул бир түрдүү жаңыча ыкма, аны төмөндөгү 4-сүрөт аркылуу түшүндүрүүгө болот.

Сүрөт 4. Импульстук кедергилерди катмарга бёлуп жоюу ыкмасы

Трансформаторго диагноз коюучу эксперттик система (FDES).

Трансформаторго диагноз коюуда логикалык диагноз коюуу, бүдөмүк диагноз коюу (*Fuzzy Diagnosis*) жана статистикалык диагноз коюу деп үч түргө бөлүнөт. Кезекте трансформаторго интеллектуалдык диагноз коюуда төмөндөгүдөй теория жана ыкмалар колдонулат: бүдөмүк теория (*Fuzzy Theory*), эксперттик система (*Expert system,ES*), жасалма нейтрондук тармактар (*Artifical Neural Networks*, ANN), одоно жыйнактуу теория (*Rough Set Theory,**RST***), экономикалык каптама теория (*Economical Cover Set Theory*, PCT), Вейвлет аркылуу түрлөргө бөлүү (*Wavelet classification network*,WCN),



Сүрөт 5. Бейнесинен таануу процесси

далил келтирип ой корутундулоо (*Case-Based Reasoning*, CBR-*Аргументация, базирующаяся на ситуациях*), Бозгулт система теориясы (*Gray System Theory*, GST), чечме дарак анализи же теориясы (*Decision Tree Analysis*,FTA), кадастердик (бөлүп алып) анализ (*Gray Clustering Analysis)*, Бүдөмүк-нервтик тор (*Fuzzy Neural Network*,FNT), Бүдөмүк математика жана адаптивдүү нервтик тор (*Fuzzy Mathematics and Adaptive Neural Network* , FART) ж.б.

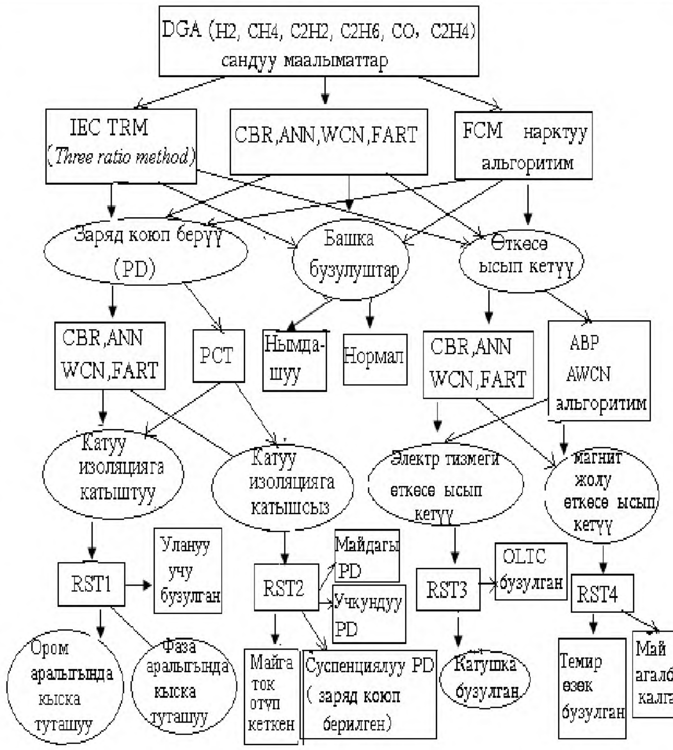
Трансформатордун ар кандай бузулушуна так, туура диагноз коюуда бир татаал процесс, эң негизгиси жолтоо белгилерин туура алуу жана бейнесинен таануу (*Pattern recognition*) зарыл.

Трансформаторго диагноз коюудагы PD жышаандарын сүрөттөлүшүн таануу процессин жогорудагы 5-сүрөт аркылуу түшүндүрүүгө болот.

Алдын ала бир жаңсыл кылуу негизинен аралашма жолтоо жышаандарын жоюп, из сымал белгилерди (*fingerprint*) пайда кылат. PD жышаанын таанууда үйрөнүүнүн (машыгуу) үлгүсүн алуу (*Training samples*), иштеп жаткан тордун темпин жогору көтөрүүдө өзгөчө мааниге ээ.

Ченелген белгилердин үлгүсүнүн негизинде, AGP-BP тору аркылуу текшерилген соң, накта бузуктугуна туура диагноз коюуга болот. Жогору чыңалуудагы трансформатордун нормалдуу иштешине кепилдик кылуу үчүн, сөзсүз аны чубалгыда көзөмөлдөө жана ар түрдүү бузуктуктарга интеллектуалдык диагноз коюу системасын колдонуу зарыл.

Кезекте трансформаторду чубалгыда коргоо жана бузулуштарына интеллектуалдык диагноз койуу үчүн, жогорудагы жаңыча теория, жаңыча алгоритим жана ар түдүү диагностикалык технологияларды колдонуп, 6-сүрөттө көрсөтүлгөндөй интеллектуалдык диагноз коюу системасын түзүүгө болот.



Сүрөт 6. Трансформаторго интеллектуалдык диагноз коюуучу системанын түзүлүшү

Сунушталган система, кезекте чечилүүгө тийиштүү маселелерди чечет, ар-түрдүү жолтоолорду (помехи) тосо алат жана жоёт, туура диагноз койо алат, ишенимдүүлүгү жогору жана үнөмдүү, иш жүзүндө колдонсо болот.

Корутунду

1. Жогору чыңалуудагы трансформатордун PD жышаандарын линияда күзөтүү жана бузулуштарына интеллектуалдык диагноз коюу системасы, жогору чыңалуудагы трансформатордун обочолоосун ченөө, иштен чыгып калбоосун алдын-ала диагноз коюу жана кызмат мөөнөтүн узартуу багыты талкууга алынып жаткан маселелердин бири. Импульстук тар тилкелүү жана буурул чуу (*White Noise*) тоскоолдуктарды жоюуда ададтивдүү фильтр колдонуп, Вейвлет-анализ аркылу, Фурьелик өзгөртүү (FFT жана IFFT) алып барган соң, анык PD жышаандарына ээ боло алат.

2. Импульстук тоскоолдуктарды жоюуда, убакыт ченемдүү жана BP алгоритимдик ыкма негизиндеги катмарлуу жоюу ыкмасын колдонгондо жыйынтыгы жакшы болот, компьютердик үлгү иш жүзүнө ашат, интеллектуалдык диагностика үчүн толук маалыматтарды камдап берет.

3. Сунушталган системада, сандуу маалыматтарды иргеп алуу, базага сактоо, ададтивдүү прцессор жана Вейвлет-анализи аркылуу PD жышаандарын алдын ала бир жаңсыл кылуу, ар түрдүү кедергилерди жоюу процессин анализдөө, бейнесинен таануу, заманбап эксперттик система негизинде кедергилерди түрлөргө бөлүү, кемтигин аныктоо жана автоматтык тез, туура диагноз коюу, ал негизинде кемчилиги бар трансформаторду жөнгө салу маселелерин чече алат.

Пайдаланган адабияттар

1. Нургазы Жумалы, Туйгун Сабатарович Борукеев, транформаторду линияда күзөтүү жана бузулуштарына диагноз койууну системасынын түзүлүшүн жана көрүнүктүү ченөөнүн жаңыча ыкмаларын изилдөө. «Известия» КГТУ, №3 (36) , 2016.01, КГТУ, Бишкек, 2016, 189с-193с.

2. Zhong Qing. Zhineng dianwang guanjian jish yanjiu. Beijing: zhongguo dianli chubanshe, 2012.42c-53c.

3. Wu Guang Ning. Gao dianya jishu. Beijing: zhongguo jixie chubanshe, 2015. 142c-147c.