

Секция ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
Подсекция ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

20 апреля 2018 г., 9 час. 55 мин., ауд. 406 к. «Д»
Председатель подсекции, научный руководитель – д.т.н., профессор Хомутов С.О.
Заместитель председателя подсекции, координатор – к.т.н., доцент Гутов И.А.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Бастрыкин К.В. – студент группы Э-41, Белицын И.В. – к.п.н., доцент
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КАТУШКИ С МАЛОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ
2. Бастрыкин К.В. – студент группы Э- 41, Гутов И.А. – к.т.н., доцент
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО ВЫБОРУ РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6 – 35 КВ
3. Брагин В.С. – студент группы Э-41, Грибанов А.А. – к.т.н., доцент, Волков Д.А. – начальник химической лаборатории управления диагностики департамента технического обслуживания и ремонта объектов электросетевого хозяйства аппарата управления
ОБОСНОВАНИЕ НОРМ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЁННЫХ В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
4. Венгерский А. Д. – студент группы Э-41, Попов А. Н. – к.т.н., доцент
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СИГНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ
5. Дитятев Д.С. – студент группы Э-41, Татьяначенко Л. Н. – к.т.н., доцент
КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ
6. Жук В.Л. – студент группы Э-41, Попов А.Н. – к.т.н., доцент
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
7. Латин Д.Е. - студент группы Э-41, Кузнецов И.А. - студент группы Э-43, Компанеец Б.С.– к.т.н., доцент
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЕМ ПОТОКА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ АПК
8. Мазепа Д.И. – студент группы Э-41, Попов А.Н. – к.т.н., доцент
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РАСЦЕПИТЕЛЬ ДЛЯ ЗАЩИТНО-КОММУТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ДО 1 КВ
9. Сабельников А.С. – студент группы Эпр - 42, Компанеец Б.С. – к.т.н., доцент
АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАРКИ И СЕЧЕНИЯ ПРИМЕНЯЕМОГО ПРОВОДНИКА

10. Свит С.Н. – студент группы 8Э-61, Грибанов А.А. – к.т.н., доцент
ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СИЛОВОГО
ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ЕГО
СОСТОЯНИЯ
11. Серебряков Н.А. – аспирант группы 0ТМехЭ(з)-71, Хомутов С.О. – д.т.н., профессор
ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГРУППЫ ТОЧЕК
ПОСТАВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
12. Тыштыкбаева А.Е. – студент группы Э-41, Попов А.Н. – к.т.н., доцент
ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА
ИНФРАКРАСНОГО ТЕРМОГРАФИРОВАНИЯ

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КАТУШКИ С МАЛОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ

Бастрыкин К.В. – студент группы Э-41, Белицын И.В. – к.п.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Катушка индуктивности является одним из важнейших элементов в электрических схемах. В общем случае ее можно представить, как винтовую либо спиральную катушку из изолированного проводника с вставленным в нее ферромагнитным сердечником или без него, имеющую большую индуктивность при малой емкости и активном сопротивлении. Действие катушки индуктивности заключается в том, что она может создавать вокруг себя магнитное поле при протекании по ее обмотке электрического тока.

Катушки индуктивности имеют довольно широкое применение в электротехнике, радиотехнике, электронике и других областях, где активно используется свойство катушки индуктивности - создавать вокруг себя магнитное поле. Катушки индуктивности можно применять в качестве электромагнитов, фильтров, источников э.д.с., трансформаторов, либо использовать её просто как элемент колебательного контура [1].

Кроме положительных свойств катушка индуктивности имеет и свои недостатки. В системах с переменным током при протекании последних возникает самоиндукция, которая является причиной возникновения реактивных токов, т.е. возникновения реактивной мощности, появление которой, несомненно, считается недостатком для любой энергосистемы. Действие самоиндукции, как известно, можно скомпенсировать с помощью ёмкости соответствующей величины, включенной в цепь. На практике это достигается с помощью внесения в цепь конденсаторов, которые дорого стоят, неудобны при эксплуатации, требуют поддержания их в работоспособном состоянии, и за счет этого не гарантируют необходимый уровень надежности.

Все эти недостатки можно решить если вместо конденсаторов использовать катушки с малой индуктивностью, которые за счет своей намотки сами являются источником ёмкости. Для этого необходимо намотать катушку таким образом, чтобы разность потенциалов между разными витками была существенной, так как емкость будет увеличиваться пропорционально квадрату разности потенциалов между витками [2]. Преимуществом такой емкости является простота ее получения и эффективность вследствие того, что для получения необходимого значения емкости необходимо лишь изменить форму и размер катушки индуктивности. Кроме того, энергия, запасенная в катушке в целом при уменьшении реактивной мощности, не уменьшится, потому что при снижении самоиндукции катушки мы увеличиваем собственную емкость катушки, а энергия как мы знаем изменяется пропорционально квадрату разности потенциалов и емкости катушки.

Способ намотки катушки существенно влияет на свойства катушки, но также важную роль имеет и форма каркаса катушки. Для увеличения собственной емкости катушки необходимо помимо наличия каркаса, который увеличивает емкость по сравнению с расчетной на 15-30%, также его специальная конструкция, позволяющая еще больше увеличить собственную емкость. Каркас с канавками, прорезями или секциями под провод способен увеличить емкость до 40%, а пропитка провода лаком или клеем добавит к собственной емкости еще 10%. В итоге с помощью конструкции каркаса и пропитки провода мы можем увеличить собственную емкость катушки до 50% [3]. Таким образом можно сделать вывод, что для этих целей мы можем использовать любую катушку удовлетворяющей конструкции (с прорезями, канавками или секциями под провод) пропитанную лаком или клеем. К таким катушкам к примеру, можно отнести секционированную или корзиночную катушку индуктивности. Конструкция этих катушек представлена на рисунке 1.

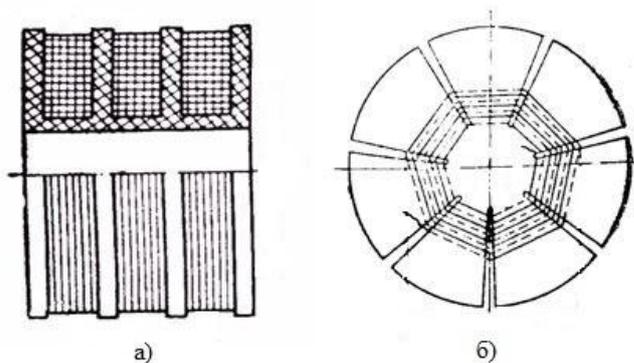
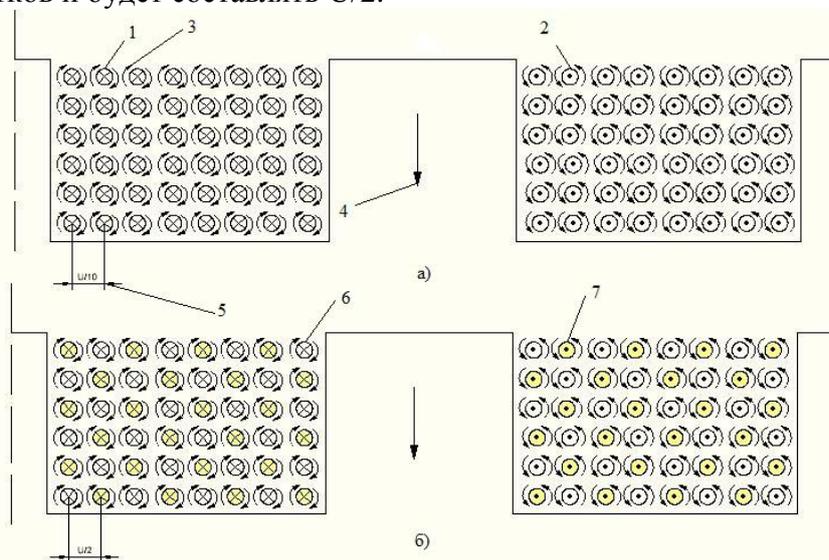


Рисунок 1 - Катушки с большой собственной емкостью:

а) секционированная катушка индуктивности; б) корзиночная катушка индуктивности

Для того чтобы разность потенциалов между витками была существенна и энергия, запасенная в катушке, не уменьшилась при уменьшении реактивной мощности необходимо расположить провода таким образом, чтобы у катушки в отдельных витках создавались однонаправленные магнитные поля, которые впоследствии суммировались и создавали бы внешнее суммарное магнитное поле. Намотка таких катушек может осуществляться как бифилярной парой проводов, так и послойно одинарным проводом, с соответствующим встречным включением слоев [4].

Для сравнения на рисунке 2, а представлена катушка с обычной намоткой одним проводом. Как мы видим разность потенциалов между соседними витками обратно пропорциональна количеству витков в катушке, и для данного случая составляет $U/10$. На рисунке 2, б представлена катушка в разрезе, имеющей обмотку с однонаправленными магнитными полями в смежных витках намотанную бифилярной парой проводов (намотка осуществляется двумя проводами одновременно). За счет того, что бифилярные проводники наматываются вместе, то разность потенциалов между соседними витками не будет зависеть от количества витков и будет составлять $U/2$.



1 - сечение проводника с током, направленным от наблюдателя; 2 – сечение проводника с током, направленным к наблюдателю; 3 - направление вращения магнитного поля вокруг проводника с током; 4 - направление магнитного поля в сердечнике; 5 – разность потенциалов между соседними витками; 6 – первый провод бифилярной пары; 7 – второй провод бифилярной пары

Рисунок 2 – Катушки с однонаправленными магнитными полями в витках:

а) обычная намотка; б) намотка бифилярной парой проводов

Проведя сравнение обычной намотки и намотки бифилярной парой проводов, можно заметить, что применение катушек с бифилярной намоткой позволяет существенно увеличить разность потенциалов между соседними витками по сравнению с обычной намоткой (эффект будет наибольшим при большом количестве слоев катушки). Межвитковая емкость зависит от квадрата разности потенциалов между витками. Соответственно такой способ намотки позволяет повысить собственную емкость катушки, которая будет распределяться равномерно по катушке и будет способствовать уменьшению реактивной мощности катушки, при том что энергия, запасенная в катушке в целом при уменьшении реактивной мощности, не уменьшится, потому что при снижении самоиндукции катушки мы увеличиваем собственную емкость катушки, а энергия как мы знаем изменяется пропорционально квадрату разности потенциалов и емкости катушки.

В заключении можно сделать вывод, что конструкция катушек с большой собственной емкостью и однонаправленными магнитными полями в смежных витках намотанных бифилярной парой проводов обладает рядом преимуществ. Она обладает большой собственной ёмкостью и малой реактивной мощностью, без уменьшения полной энергии, запасенной в катушке. Такие катушки могут быть использованы для уменьшения самоиндукции и взаимной индукции между обмотками трансформаторов, между обмотками статора и ротора электрических двигателей и генераторов.

Список использованных источников:

1. Где применяется катушка с проводом (индуктивность) [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://domasniyelektromaster.ru/nemnogo-teorii/gde-primenyayutsya-katushki-induktivnosti/>
2. Бифилярные катушки [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://zaryad.com/wp-content/uploads/2012/09/Bifilyarnyie-katushki-vvedenie.pdf>
3. Теория индуктивностей [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://www.comsoft.ru/index.php?t8=27>
4. Катушка [Текст] : пат. 2355060 Рос. Федерация : МПК H01F5/00 : В. П. Янчук – заявл. 28.03.2007 ; опубл. 10.05.2009 – 2 с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО ВЫБОРУ РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6 – 35 КВ

Бастрыкин К.В – студент группы Э-41, Гутов И.А. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время существует четыре режима нейтрали: изолированная нейтраль, компенсированная нейтраль (заземленная через дугогасящий реактор), глухозаземленная нейтраль, нейтраль заземленная через резистор. В России согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) для электрических сетей 6 – 35 кВ разрешается использовать в качестве режимов нейтрали все из них, кроме глухозаземленной [1]. Наибольшее практическое применение получили сети с изолированной нейтралью, за счет того, что при возникновении однофазного замыкания на землю они способны осуществлять электроснабжение без отключения поврежденного участка в течение определенного времени. Но в энергетике многих зарубежных стран используют другие режимы нейтрали, по причине того, что в сетях с изолированной нейтралью высок риск возникновения дуговых перенапряжений, и более длительное выявления ненормальных режимов работы сети, что в свою очередь приводит к аварийному недоотпуску электроэнергии [2]. В последнее время тема заземления нейтрали вызывает все больше обсуждений. Однако, отсутствие комплексного подхода для сравнения допустимых режимов нейтрали сетей 6 – 35 кВ, а также отсутствие необходимого программного обеспечения, способствует тому, что данный

вопрос так и не находит оптимального решения [3]. Поэтому актуален вопрос о разработке программы по выбору режима нейтрали электрических сетей 6 – 35 кВ.

В результате работы была разработана программа «Выбор режима нейтрали электрических сетей 6 – 35 кВ, расчет и сравнение их характеристик при однофазном замыкании на землю» версия 1.0, которая позволяет произвести комплексный анализ режимов нейтрали сетей 6-35 кВ, разрешенных ПУЭ, и выявить какой режим нейтрали является наиболее приемлемым для данного конкретного случая.

Данная программа разработана в среде Lasagus. Интерфейс программы представлен на рисунке 1.

Исходные данные :

Номинальное напряжение U_n , кВ = 10

Суммарная длина линий, L, км = 35

Частота сети f , Гц = 50

Тип линии Воздушная линия электропередачи Кабельная линия электропередачи

Расчет тока однофазного замыкания на землю и уставок защиты

а) Сеть с изолированной нейтралью

Ёмкостный ток линии I_c , А = 1

Ток однофазного замыкания на землю I_z , А = 1,19

Уставка максимальной токовой защиты $I_{уст}$, А = 1,1

б) Сеть с компенсированной нейтралью (заземленной через дугогасящий реактор)

Ёмкостный ток линии I_c , А = 1

Мощность дугогасящего реактора (реакторов) Q, кВА = 12,5

Ток компенсации дугогасящего реактора $I_{др}$, А = 0,87

Ток однофазного замыкания на землю I_z , А = 1,22

Уставка максимальной токовой защиты $I_{уст}$, А = 1,1

в) Сеть с резистивно-заземленной нейтралью

Ёмкостный ток линии I_c , А = 1

Ток через резистор I_r , А = 1

Ток однофазного замыкания на землю I_z , А = 1,4

Уставка максимальной токовой защиты $I_{уст}$, А = 1,2

Таблица для сравнения режимов заземления нейтрали

	Изолированная нейтраль	Компенсированная нейтраль	Нейтраль заземленная через резистор
Ёмкостный ток линии, А	1	1	1
Ток однофазного замыкания на землю, А	1,19	1,22	1,4
Перенапряжения на неповрежденных фазах при ОЗЗ, кВ	35	25	25
Вероятность возникновения дуговых перенапряжений при ОЗЗ	да	да	нет
Дополнительные затраты на заземление нейтрали	нет	да	да
Опасность для человека и животных, находящихся вблизи ОЗЗ	да	да	нет

Рисунок 1 – Экранная форма программы для выбора режима нейтрали

Исходными данными для расчета являются технические характеристики рассматриваемой электрической сети: тип линии, номинальное напряжение, суммарная длина линии, частота сети. На основании введенных исходных данных программой производится расчет тока однофазного замыкания на землю и уставок защиты для сетей с изолированной, компенсированной и резистивно-заземленной нейтралью. Для сети с изолированной нейтралью определяется ёмкостный ток линии, ток однофазного замыкания на землю и уставка максимальной токовой защиты. Для сети с компенсированной нейтралью дополнительно определяется мощность и ток компенсации дугогасящего реактора, которые необходимы для правильного расчета тока однофазного замыкания на землю и тока уставки защиты. При расчете резистивно-заземленной нейтрали дополнительно учитывается ток через резистор, который также необходим для определения тока однофазного замыкания на землю и тока уставки токовой защиты. После расчета параметров, характеризующих режимы работы нейтрали электрических сетей при однофазном замыкании на землю, программой формируется сравнительная таблица на основе проанализированных данных.

Анализ производится на основе сравнения следующих данных:

- ёмкостный ток линии;
- ток однофазного замыкания на землю;
- перенапряжение на неповрежденных фазах при однофазном замыкании на землю;
- вероятность возникновения дуговых перенапряжений;
- дополнительные затраты на заземление нейтрали;
- опасность для человека и животных, находящихся вблизи однофазного замыкания на землю.

В результате расчетов проводится комплексный анализ режимов работы нейтрали при однофазном замыкании на землю в сетях 6 – 35 кВ и рассчитываются уставки токовых защит.

Разработанное программное обеспечение может использоваться в учебном процессе для студентов по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», а также в производственной деятельности для инженерных расчетов специалистами в области эксплуатации электрических сетей и релейной защиты. Программа способствует повышению эффективности анализа и оценки различных способов заземления нейтрали и выработки рекомендаций по их применению.

Список использованных источников:

1. Правила устройства электроустановок [Текст]. – Москва : Госторгиздат, 2015. - 144 с
2. Обабков, В.К. Сравнительный анализ и оптимизация режимов заземления нейтрали в коротких сетях различного назначения [Текст]. / В.К. Обабков // Вестник госэнергонадзора и энергосбережения. – 2002. - №2. - С.41-49
3. Аношин, О.А. Режимы заземления нейтрали. Распределительные сети XXI века: куда идти? [Текст] / О.А. Аношин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2008. – № 12. – С. 39–44.

ОБОСНОВАНИЕ НОРМ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЁННЫХ В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Брагин В.С. – студент группы Э-41, Грибанов А.А. – к.т.н., доцент,

Волков Д.А. – начальник химической лаборатории управления диагностики департамента технического обслуживания и ремонта объектов электросетевого хозяйства аппарата управления Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)
Филиал ПАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго» (г. Барнаул)

На сегодняшний день силовое оборудование электрических сетей России преимущественно устарело. Более 50 % силовых трансформаторов отработали нормативный срок службы, а некоторые трансформаторы старше 50 лет.

Силовой трансформатор – важнейший элемент, определяющий надежность электроснабжения. Его выход из строя может привести к масштабным последствиям.

В связи с тем, что значительная доля парка силовых трансформаторов 35 – 110 кВ находится в эксплуатации больше установленного нормативного срока, всё более актуальной становится задача увеличения срока службы и анализ возможности дальнейшей эксплуатации такого оборудования.

Проблема контроля технического состояния трансформаторов является актуальной и в наши дни, хотя и имела место весь тот срок, в течение которого эксплуатируются закрытые маслонаполненные трансформаторы. Первоначально для проведения диагностики необходимо было выполнить ряд трудоёмких операций, к которым относятся: отключение оборудования, слив масла, проведение ревизии, заполнение оборудования маслом и введение в эксплуатацию. Все эти операции требуется выполнять с соблюдением действующих норм и правил. В связи с многочисленными неудобствами и несовершенством технологического обеспечения таких диагностических мероприятий стала актуальной проблема поиска и разработки новых методов контроля состояния трансформаторов, которые бы позволили избежать проведения столь затратных мероприятий.

Решение этой проблемы стало возможным благодаря созданию метода оценки технического состояния на основе использования хроматографического анализа растворённых в масле газов (ХАРГ). Суть метода состоит в том, что анализируется состав растворённых в масле характерных газов. Зная их концентрации можно выявлять дефекты отдельных систем трансформатора на ранней стадии развития, устанавливая вероятные

места сосредоточения дефектов и устанавливать срок, в течение которого развитие дефекта может оказаться опасным. Несомненным достоинством этого метода является возможность проведения дистанционной диагностики трансформатора, так как для отбора пробы масла не требуется проводить отключение трансформатора.

Для своевременного выявления трансформаторов с возможными развивающимися дефектами необходимо произвести расчёт граничных концентраций растворенных газов в масле трансформаторов.

Граничные концентрации растворённых в масле газов могут быть определены статистическим способом, основой которого является нахождение параметров распределения концентраций газов по результатам ХАРГ для имеющегося парка трансформаторов.

В филиале ПАО "МРСК Сибири" - "Алтайэнерго" требуется определение граничных концентраций растворённых в масле газов. Данный подход связан с определением граничных концентраций растворённых газов в масле эксплуатируемых трансформаторов каждые 5 лет [2]. Условия эксплуатации для различных трансформаторов отличаются. Поэтому целесообразно весь парк трансформаторов разделить на характерные группы по назначению и общности отдельных функциональных характеристик (блочные, сетевые, с регулированием напряжения или без регулирования, одного класса напряжения и т.д.). С учётом опыта статистических испытаний рекомендуется для обеспечения устойчивости результатов иметь в каждой группе не менее 50 трансформаторов [2].

Основой для статистического анализа имеющихся данных о концентрациях характерных газов является использование всех имеющихся измеренных значений для всех исследуемых газов. В качестве граничной концентрации любого газа может быть принято такое значение, которое не превышает у 90% всех трансформаторов исследуемой группы.

Для определения граничных концентраций с использованием интегральной функции распределения (f_i) воспользуемся следующей методикой:

Введём следующие обозначения:

A_{0i} – начальное значение концентрации i -го газа, %об;

A_i – измеренное значение концентрации i -го газа, %об;

A_{cpi} – граничная концентрация i -го газа, %об;

A_{max} – максимальное значение концентрации i -го газа;

F_{Li} – интегральная функция распределения;

P_{Li} – вероятность;

N – общее число трансформаторов;

L – интервал измерения концентрации i -го газа;

n_{Li} – число трансформаторов с концентрацией газа $A_{(i-1)L} < A_i$;

- измеренные концентрации i -го газа от A_{0i} до A_{max} по исследуемой группе трансформаторов необходимо разбить на L интервалов;

- вероятность P_{Li} приближенно оценим по значению частоты наблюдения концентрации в интервале от A_{L-1} до A_{Li} ;

- на каждом интервале определяем вероятность:

$$P_{Li} = \frac{n_{Li}}{N} \quad (1)$$

- значения интегральной функции распределения с учётом (1) находятся как:

$$F_{Li} = \sum_{i=1}^{i=k} P_{Li}$$

где $k < L$;

(2)

- при отсутствии достаточных статистических данных для определения граничных концентраций растворенных в масле трансформаторов газов можно пользоваться данными таблицы 2 [2].

Для энергосистемы ПАО "МРСК Сибири" - "Алтайэнерго" были найдены граничные значения концентраций растворенных в масле для трансформаторов 35, 110 кВ следующих газов: H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 и C_2H_6 .

Для решения поставленной задачи была проделана следующая работа:

- сформирована база данных измеренных концентраций i -го газа по всем характерным группам находящихся в эксплуатации трансформаторов;
- выполнены расчёты граничных концентраций i -го газа;
- построены графики интегральной функции распределения для всех газов.

В качестве примера приведено определение граничных концентраций этилена и водорода. Для определения граничной концентрации использован графический метод.

График интегральной функции распределения концентрации этилена C_2H_2 представлен на рисунке 1, а водорода H_2 – на рисунке 2.

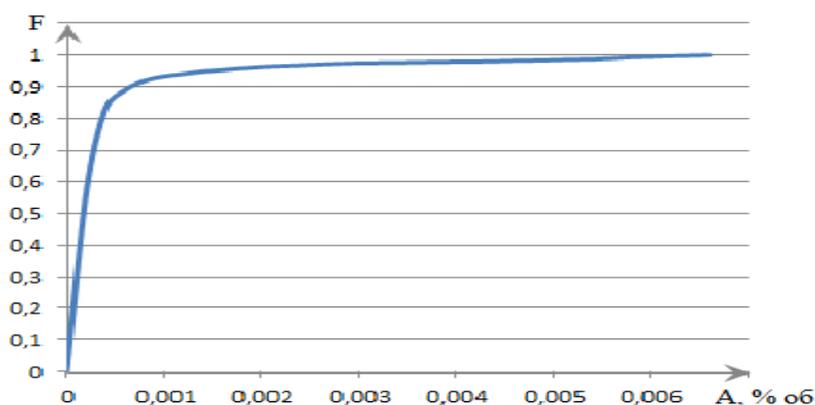


Рисунок 1 – График интегральной функции распределения концентрации этилена C_2H_2

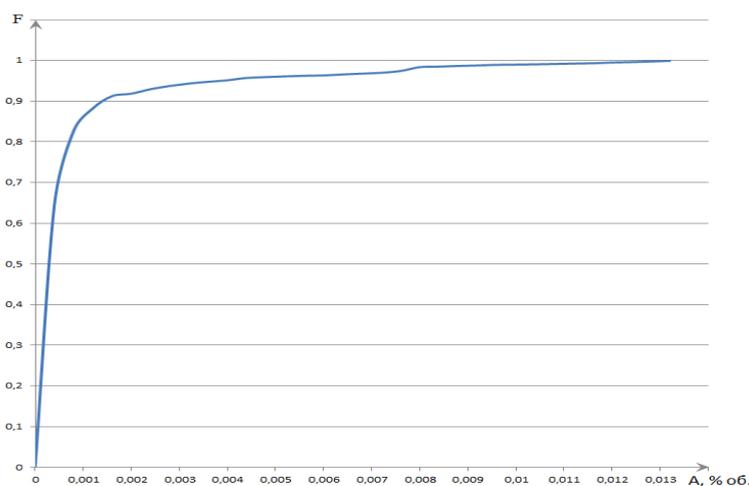


Рисунок 2 – График интегральной функции распределения концентрации водорода H_2

Полученное значение концентрации этилена равно 0,0006 % об, что в 1,6 раза меньше используемого значения. Значение концентрации водорода равно 0,0016 % об., что в 6,25 раз меньше используемого значения.

В результате расчёта были получены значения, которые существенно меньше тех, которые используются в данное время. Это позволит выявлять дефект на ранних этапах развития, что в свою очередь поможет избегать аварийных ситуаций, повысит срок службы трансформатора, сократит затраты на восстановление оборудования, повысит надёжность электроснабжения.

Список использованных источников:

1. СТО 34.01-23.1-001-2017 Объем и нормы испытаний электрооборудования. Стандарт организации ПАО «Россети».
2. РД 153-34.0-46.302-00."Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле".

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СИГНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Венгерский А. Д. – студент группы Э-41, Попов А. Н. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Электроэнергия является одним из товаров первой необходимости. Ни промышленность, ни народное хозяйство не могут функционировать без электроэнергии. Поэтому вопрос надежности электроснабжения так важен как для самих энергетиков, так и для потребителей электроэнергии. Согласно [1], в отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются три категории, в зависимости от тяжести вреда, который может повлечь отключение этих электроприемников.

При этом, рассматривая вопрос обеспечения требуемого уровня надежности электроснабжения, нельзя упускать из виду человеческий фактор. Кража цветных металлов с воздушных линий электропередачи (ВЛЭП), оборудования из комплектных трансформаторных подстанций (КТП), распределительных пунктов (РП) наносит ущерб энергетическому комплексу. При этом, большая часть правонарушителей не понимает или недооценивает опасность электрического тока.

В данной научной работе был проведен анализ статистики травматизма среди сторонних лиц в электроустановках ПАО «МРСК Сибири» в 2012-17 гг. и ПАО «Россети» в 2017 году, а также детского травматизма. Основными обстоятельствами, приведшими к детскому травматизму за период 2012-17 гг., являются необдуманные действия пострадавших и проникновение. В электроустановках ПАО «Россети» с января по май 2017 года произошло 25 несчастных случая со сторонними лицами, в результате которых 19 человек погибли и 7 человек получили электротравмы. За период с 01 по 10 августа 2017 года произошло 7 несчастных случаев со сторонними лицами, в результате которых пострадало 9 человек, 6 человек из которых погибло, а 3 человека получили электротравмы [2].

Значительная часть несчастных случаев и правонарушений происходит на таких небольших электроустановках, как комплектные трансформаторные подстанции, распределительные пункты и подстанции. Безопасность подобных объектов в большинстве своем обеспечивается разве что забором вокруг объекта, предостерегающими табличками и навесным замком. Эти меры обеспечения безопасности не являются серьезным препятствием на пути внешних нарушителей [3], именно поэтому территория подобных объектов и становится одной из главных сцен для таких несчастных случаев и противоправных действий.

Таким образом, была поставлена цель разработать простое (а значит надежное) и дешевое (и, тем самым, позволяющее широкое внедрение) устройство сигнализации с видеофиксацией, которое могло бы помочь решить данную проблему.

Для выявления наиболее оптимального технического решения были проведены анализ существующих методов обеспечения безопасности объектов и анализ способов их реализации.

Существуют два основных метода обеспечения безопасности различных объектов: ограничение проникновения на объект и оповещение о проникновении, однако на практике в подавляющем большинстве случаев эти методы применяются совместно.

После анализа методов обеспечения безопасности объектов была синтезирована структурная схема, определяющая взаимосвязь элементов устройства. Структурная схема приведена на рисунке 1.

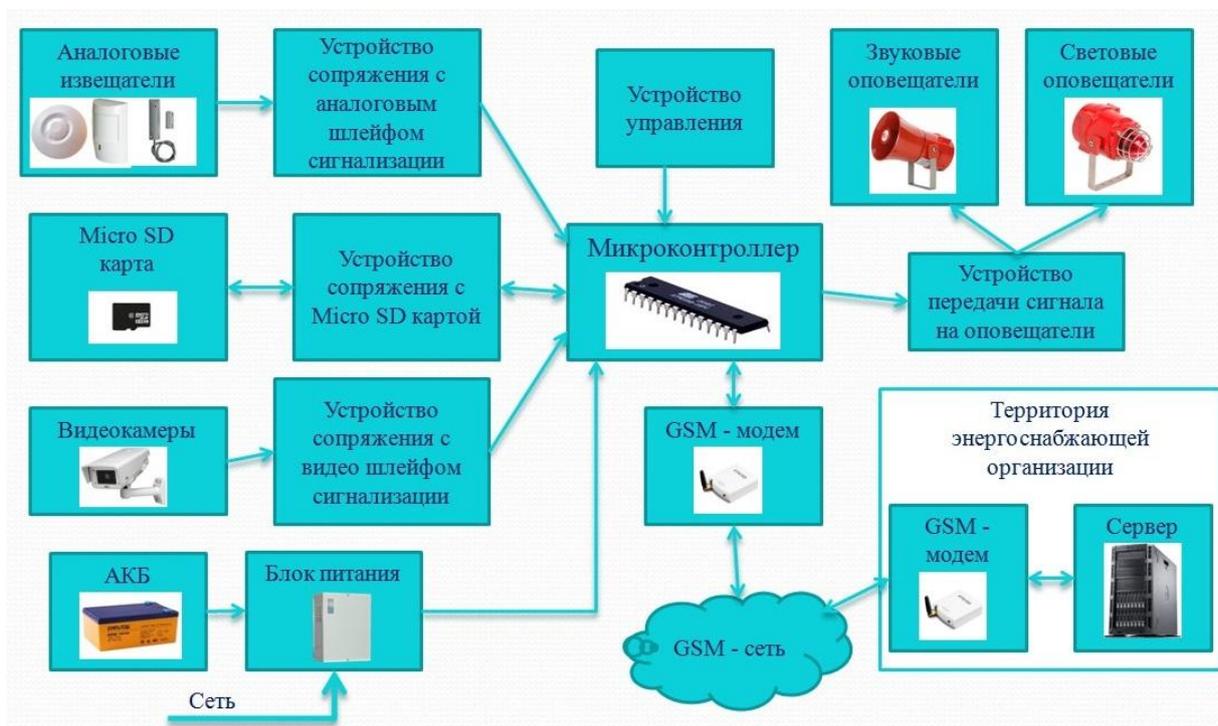


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

В качестве видеокамеры для системы сигнализации были рассмотрены цифровые и аналоговые варианты видеокамер. В аналоговой камере от матрицы изображение поступает в аналоговом формате, далее оно оцифровывается для обработки, а для дальнейшей передачи опять преобразуется в аналоговый сигнал. По коаксиальному кабелю видеосигнал передается на монитор (если нужно) и на видеорегистратор, который оцифровывает, кодирует и сжимает его для записи. В цифровой камере сигнал не преобразуется обратно из цифрового формата в аналоговый для передачи, а отправляется на регистратор сразу в оцифрованном виде. При этом перед передачей он может кодироваться и сжиматься, как осуществляется в IP-камерах, или же передаваться несжатым и некодированным, как происходит в HD-SDI камерах [4]. Для сопряжения аналоговой видеокамеры с микроконтроллером системы сигнализации необходимо дополнительное дорогостоящее оборудование, для оцифровки аналогового сигнала. Большая часть цифровых камер для передачи данных использует параллельный интерфейс, что влечет за собой очень сильную загрузку микроконтроллера, поэтому возникает необходимость использования более мощных и дорогих образцов. Для решения этой проблемы была найдена микросхема видеокамеры, способная создавать файл изображения и помещать его в буфер для дальнейшей передачи по последовательному интерфейсу, что, в свою очередь, позволяет использовать более простой, дешевый и компактный микроконтроллер приёмно-контрольного устройства. На рисунке 2 представлена функциональная схема камеры.

Микроконтроллер записывает файлы изображений на MicroSD-карту памяти и, при срабатывании, извещателей начинает отправлять файлы энергоснабжающей организации.

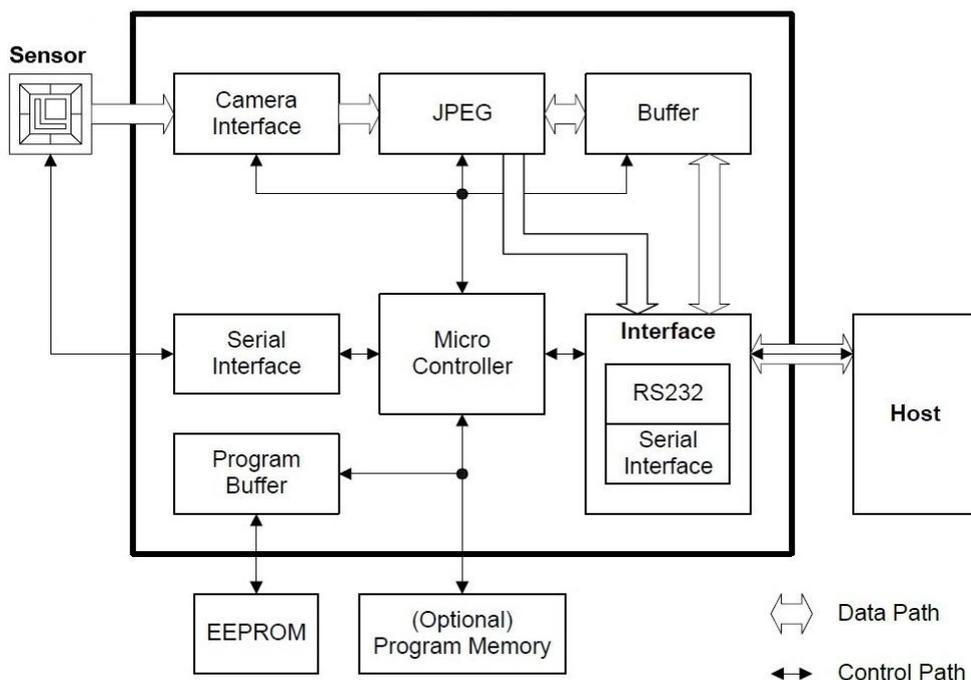


Рисунок 2 – Функциональная схема камеры

Разрабатываемое устройство сигнализации позволит увеличить вероятность предотвращения таких случаев краж, вандализма, смертей и повреждения оборудования. Вследствие этого снизятся затраты на покупку нового оборудования, на вероятные судебные разбирательства из-за несчастных случаев, на ремонт вышедшего из строя или поврежденного оборудования. Видеонаблюдение с помощью данной охранной системы создаст возможность мониторинга обстановки и сложившейся ситуации на охраняемом объекте, позволит воспроизвести детали совершенного правонарушения, а беспроводная двусторонняя GSM-связь с диспетчерским центром позволит своевременно реагировать и принимать соответствующие действия при нештатных ситуациях на территории электроустановки. Кроме того, данное устройство привнесет элементы системы «интернета вещей» в распределительные сети, что является одним из основных проектных направлений дорожной карты EnergyNET в рамках концепции «Национальной технической инициативы».

Список использованных источников:

1. Библия электрика [Текст]: ПУЭ (шестое и седьмое издания, все действующие разделы); МПОТ; ПТЭ. – Новосибирск: Норматика, 2012. – 688 с., ил. – ISBN 978-5-4374-0116-3.
2. Венгерский А. Д. Разработка устройства сигнализации с видеонаблюдением для КТП [Текст] / А. Д. Венгерский // Молодежь – Барнаул : материалы XVII – XIX городской научно-практической конференции молодых ученых / гл. ред. Ю. В. Анохин. – Часть XIX. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2018 – с. 483-486. – ISBN 978-5-7904-2263-8
3. Системы охраны и безопасности объектов. Термины и определения [Текст] : РД 25.03.001-2002 : Ввод. в действие с 01.08.2012 г. – Москва, 2002. – 133 с.
4. Как выбрать камеру для видеонаблюдения, ч.1. Виды видеокamer. [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: <https://lantorg.com/article/kak-vybrat-kameru-dlya-videonablyudeniya-ch1-vidy-videokamer>

КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Дитятев Д.С. – студент группы Э-41, Татьяначенко Л. Н. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Важнейшей задачей энергетики является обеспечение бесперебойной работы оборудования на станциях, подстанциях. Одним из важнейших объектов энергетической системы можно считать силовой трансформатор. Он преобразует электрическую энергию и сокращает ее потери при передаче от источника к потребителю. Необходимо проводить контроль состояния трансформатора, предотвращая возникновение аварии или отказа, не допуская недоотпуск электроэнергии, снизить время и расходы на ремонт, ведь он, помимо технической ценности, еще и самый дорогой из оборудования на подстанциях. Дефектов, возникающих в трансформаторе, очень много. Потому на сегодняшний день имеется солидное число методов защиты и контроля. По имеющейся статистике, основной причиной выхода из строя являются повреждения (РПН/ПБВ) и дефекты изоляции (рисунок 1).

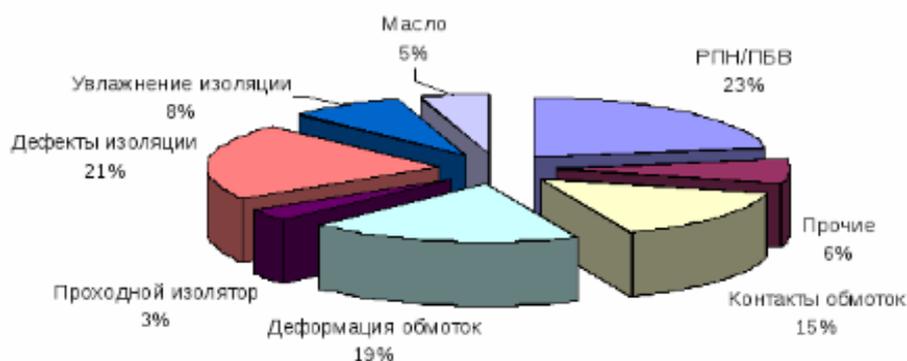


Рисунок 1 – Виды дефектов в силовом трансформаторе

Опаснее считаются дефекты изоляции, поскольку вовремя обнаружить ее повреждения крайне сложно. Дефекты в изоляции могут привести к возникновению опасного процесса – частичным разрядам (далее – ЧР). На основе данных [1-2], выделяют четыре основных дефекта наблюдаемых в изоляции трансформаторов, провоцирующих развитие ЧР: ползущий разряд, пробой масляного канала, разряд в масляном клине, скользящий разряд твердой изоляции.

В настоящее время контроль состояния изоляции проводится с помощью периодических испытаний, требующих отключения трансформатора от сети. Один из них является анализ состава масла. Еще одним способом является измерение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции мостом Шеринга. Измеряют значения $tg\delta$ изоляции с помощью мостов переменного тока, собранных по нормальной или перевернутой схеме. Для неповрежденной изоляции $tg\delta$ не меняется с повышением испытательного напряжения. Увеличение $tg\delta$ с ростом напряжения означает появление в изоляции интенсивных ЧР.

Однако, несмотря на действенность методов, один только периодический контроль за изоляцией оказывается неэффективным. Из практики известно, что пробой изоляции вследствие ЧР зачастую происходит внезапно, в период между проверками изоляции. Потому можно предположить, что эффективным способом контроля изоляции служит измерение ЧР в режиме постоянного мониторинга.

Есть несколько основных сигналов, по которым можно отследить ЧР. Это звук, электрический ток, электромагнитные волны. На их основе имеется три различных метода выявления ЧР в изоляции: электрический, акустический, электромагнитный.

В общем случае состав устройства для измерения ЧР следующий: первичный измерительный преобразователь и измерительного прибора. К основным узлам

измерительного прибора относятся: регулятор чувствительности, фильтр, усилитель и измеритель.

В измерительном приборе производится преобразование полученных на выходе датчиков импульсов и измерение их параметров.

Электрические датчики, самые чувствительные к сигналам ЧР, подключаются к измерительным выводам высоковольтных вводов или к высокочастотным трансформаторам тока, устанавливаемым на провода заземления, из-за емкостной связи с высоковольтной шиной. Они способны дать лишь очень грубую локализацию источника сигналов ЧР.

Проблема локализации дефекта решается акустическими датчиками благодаря сравнительно низкой скорости распространения сигналов. Недостатком является невозможность фиксации частичных разрядов небольшой величины из-за меньшей чувствительности.

Электромагнитные датчики регистрируют электромагнитные сигналы ЧР с помощью антенны, обеспечивая дистанционные измерения. Они наиболее чувствительны к дефектам в наружных частях оборудования, менее – к сигналам внутри металлического бака.

Получению достоверных сведений о ЧР в изоляции мешает огромное количество частотных помех (различного рода преобразователи, корона, сигналы ВЧ связи). Существует несколько способов отстройки от сигналов помех.

Отстройка от импульсов коронных разрядов по фазе питающего напряжения. Данный способ строится на том, что коронные разряды наиболее интенсивны и имеют наибольшую амплитуду на положительной полуволне питающего напряжения. Их интенсивность и амплитуда короны значительно снижаются на отрицательной полуволне, тогда и делается замер ЧР. Но если ЧР произойдет на положительной полуволне, он зарегистрирован не будет. Поэтому такой способ не удовлетворяет требованиям надежного контроля изоляции.

Отстройка от «внешних» импульсов по времени прихода импульсов от нескольких датчиков. Электрический датчик устанавливается на высоковольтный ввод, так называемый PIN. Электромагнитный, в виде измерительного трансформатора тока, – в нейтраль трансформатора. Предполагается сравнение времени прихода импульсов с двух датчиков. Если датчики фиксируют сигнал одновременно, то это ЧР разряд внутри трансформатора. Если с временным сдвигом, то это сигнал помехи, который регистрирующим прибором пропускается. Точка разветвления пути импульса – ввод в месте установки первого датчика. Точка соединения путей этих импульсов – измерительный прибор. Этот способ надежнее, но также имеет два существенных недостатка. Верхняя часть высоковольтного ввода трансформатора исключена из системы мониторинга и защиты, значит ЧР в верхней части ввода будет восприниматься как помеха. Вторым недостатком является то, что нейтраль трансформатора не всегда заземлена, отчего система отстройки от помех не сработает.

Решение данной проблемы, мне кажется, в следующем. Необходимо сформировать три измерительных канала с электрическими датчиками, на каждую фазу. Одну из фаз выбрать основным каналом, регистрирующим импульсы частичных разрядов в изоляции выбранной фазы трансформатора. Две другие будут опорными для сравнения параметров импульсов в основном измерительном канале с импульсами от датчиков, установленных в двух других фазах одноименной обмотки трансформатора. Шумовой канал, идущий от трансформатора тока, подключенного к нейтрали, позволит проводить амплитудное сравнение импульсов, регистрируемых со всех других первичных датчиков, подключенных не к PIN вводов первичной обмотки трансформатора. Такими датчиками будут являться акустические датчики, подключенные на стороне НН силового трансформатора. Данная система имеет ряд особенностей:

– импульсы трех фаз первичной обмотки сравниваются одновременно по трем каналам по времени прихода импульса. Это позволяет определить фазу, до которой импульс доходит раньше других, т.е. определить главный измерительный канал. Если изначально он выбран неправильно, то с помощью коммутатора, встроенного в регистрирующий прибор, происходит переключение каналов;

– сравниваются амплитуды импульсов с трех фаз обмотки. Импульс, наведенный с соседней фазы, будет меньше по амплитуде первичного импульса, что позволит исключить помехи от соседних фаз;

– сравниваются импульсы с трех фаз по полярности. Если полярность импульсов различная, то сигнал пришел извне, он прибором не фиксируется. При ЧР полярность трех фаз одинакова;

– сравниваются амплитуды импульсов от акустических датчиков и электрического, установленного на главную фазу. Позволит исключить импульсы, пришедшие по цепям вторичной обмотки.

Данная система должна работать в режиме постоянного мониторинга, фиксировать ЧР в изоляции силового трансформатора, записывать данные на компьютере. Если интенсивность разрядов возрастет, то тогда возможен контрольный осмотр трансформатора со снятием с него напряжения. Таким образом, потребность в плановом периодическом контроле трансформатора отпадет, что позволит снизить простой оборудования, избежать аварий и больших финансовых затрат на ремонт.

Схема системы мониторинга приведена на рисунке 4.

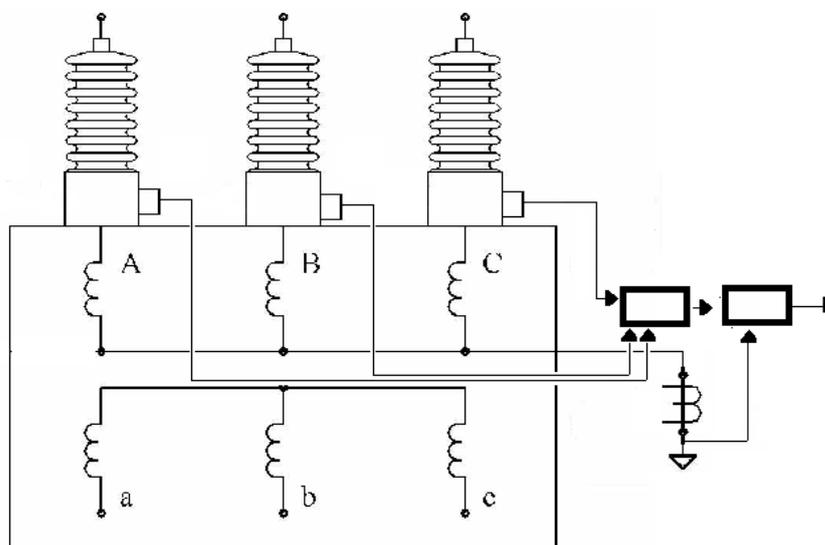


Рисунок 4

Список использованных источников:

1. Ермаков Е.Г., Монастырский А.Е. Применение электрического метода регистрации характеристик ЧР для диагностики высоковольтных силовых трансформаторов. - Материалы Международ. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Виктора Соколова/Под ред. А.Г. Овсянникова. В.Н. Осотова. - Екатеринбург: Изд. дом «Автограф», 2010.

2. Ермаков, Е. Г.. Оптимизация схемы диагностики силовых трансформаторов высших классов напряжения: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.14.12 / Ермаков Евгений Григорьевич; [Место защиты: С.-Петербур. гос. политехн. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2010. - 19 с.

3. Бортник, И. М. Электрофизические основы техники высоких напряжений [Электронный ресурс]: учебник для вузов / И.М. Бортник и др.; под общей редакцией И. П. Верещагина. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2016.— 704 с.

4. ГОСТ 20074-83 Электрооборудование и электроустановки. Методы измерения характеристик частичных разрядов.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Жук В.Л. – студент группы Э-41, Попов А.Н. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Требования к участникам рынка электроэнергии повышаются постоянно. Более остро встает вопрос о необходимости повышения точности прогнозирования электропотребления. Рассматривая проблему прогнозирования для конкретного энергосбытового предприятия, по опыту предыдущих операций, проводимых на рынке, становится возможным построить прогноз с целью уменьшения ошибки на закупку электроэнергии [1]. Чем больше факторов, влияющих на поведение энергопотребления, выявлено и чем больше зависимостей от них установлено, тем более эффективной будет модель прогнозирования [2], ведь на величину спроса влияет множество факторов, время года, время суток, метеорологические условия и многое другое. Нейронные сети помогут наиболее точно справиться с этой задачей.

Искусственные нейронные сети (ИНС) тесно связаны со многими дисциплинами: нейрофизиологией, математикой, статистикой, физикой, компьютерными науками и техникой. Их применяют в различных областях благодаря тому, что ИНС способны обучаться на основе данных под руководством учителя или даже без его вмешательства. Существуют различные виды ИНС, они имеют свои особенности и подходят для решения определенных задач.

Все искусственные нейронные сети состоят из двух типов элементов – нейронов и связей между ними. Нейроны представляют собой простые процессы, их возможности ограничиваются определенным правилом комбинирования входных сигналов и функцией активации, позволяющей вычислять выходной сигнал по совокупности входных сигналов. У каждой связи между нейронами есть свой вес (весовой коэффициент), и в зависимости от его значения при отправке выходной сигнал элемента усиливается или подавляется.

Для решения различных задач широко применяются несколько типов искусственных нейронных сетей:

- многослойный персептрон;
- сети на основе радиальных базисных функций;
- карты самоорганизации;
- рекуррентные нейронные сети.

На рисунке 1 представлена структура простой искусственной нейронной сети многослойного персептрона.

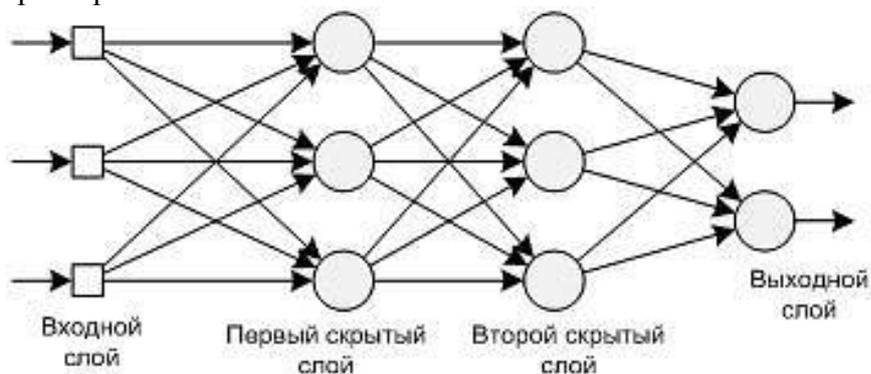


Рисунок 1 – Архитектура многослойного персептрона с двумя скрытыми слоями

Многослойный персептрон состоит из множества входных нейронов, которые образуют входной слой; одного или нескольких скрытых слоев, которые содержат вычислительные нейроны, и одного выходного слоя нейронов. Многослойные персептроны имеют свои особенности, отличающие их от других типов сетей:

- каждый нейрон имеет свою нелинейную функцию активации;

- сеть содержит один или несколько слоев скрытых нейронов, которые не являются частью входа или выхода сети;
- элементы сети отлично связаны между собой с помощью синаптических соединений.

Перечисленные особенности, а также способность обучения на собственном опыте обеспечивают высокую вычислительную производительность многослойного персептрона. Отличительное свойство нейронных сетей от других способов прогнозирования – это умение обучаться на основе поступающих данных, и в результате этого со временем повышать точность своих вычислений. Обучение нейронной сети происходит вследствие корректировки синаптических весов и порогов. Наилучшей ситуацией является, когда нейронная сеть получает знания на каждой стадии процесса обучения. Обучение походит в следующем порядке:

- поступление сигналы в нейронную сеть;
- изменение свободных параметров нейронной сети (синаптические веса);
- после изменения внутренней структуры нейронная сеть отвечает на запросы иным образом.

Для различных видов архитектуры ИНС используются разные алгоритмы обучения (обратного распространения ошибок, модельной «закалки» и т. д.), все они отличаются способом настройки синаптических весов нейронов [3].

Нейронные сети имеют ряд преимуществ при использовании их для построения прогноза электропотребления предприятий:

1. Нелинейность – способность устанавливать сложные зависимости от входных данных, это обеспечивает наименьшую ошибку прогноза по сравнению с остальными методами.

2. Самообучение – сеть обучается выборкой данных, самостоятельно определяет каждый коэффициент связи между нейронами, в зависимости от значимости каждого параметра на выходной сигнал.

3. Приспосабливаемость – дополнительное обучение сети, при получении новых данных, что позволяет адаптировать сеть к изменившимся условиям.

4. Хорошая защита от помех – отсутствие части данных уменьшает качество прогноза в меньшей степени, чем при других методах прогнозирования.

В ходе работы планируется разработать нейронную сеть со следующими входными параметрами: среднемесячная температура; количество выходных в месяце; продолжительность светового дня; ежемесячный объем производства; потребление электроэнергии за предыдущий месяц.

Для анализа данных и создания нейронной сети используется программа Statistica 10 [4]. Программа создает нейронные сети различных конфигураций, с разным количеством скрытых слоев, которые имеют разную степень точности прогноза. На данном этапе выбирается сеть с восьмью скрытыми слоями.

При данных параметрах созданная нейронная сети будет иметь точность прогноза, отобразенную на рисунке 2.

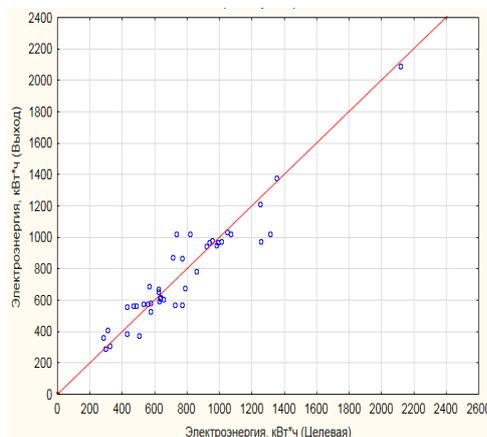


Рисунок 2 – Связь прогноза с реальным значением электроэнергии

На рисунке 3 отображены остатки, полученные при прогнозировании, которые свидетельствуют о том, что требуется корректировка данных или введение дополнительных входных параметров для увеличения точности прогноза.

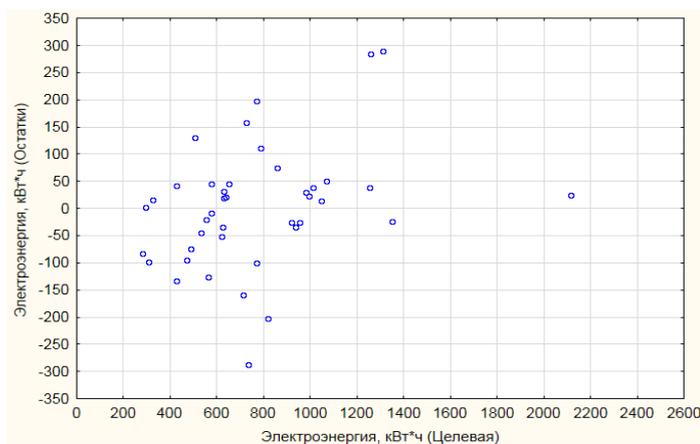


Рисунок 3 – Остатки, полученные при прогнозе

Таким образом, в процессе прогнозирования было установлено, что для получения качественного прогноза, необходимо составить полную выборку обучающих данных и отразить в ней максимально возможное количество влияющих на выходной параметр факторов.

Список использованных источников:

1. Хомутов О.И. Моделирование оптового рынка электроэнергии на основе агентно-ориентированных моделей [Текст] / О.И. Хомутов, А. Н. Попов, О.А. Штраухман, О.Л. Никитина // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2. – С. 14–19.
2. Доманов, В. И. Прогнозирование объемов энергопотребления в зависимости от исходной информации [Текст] / В. И. Доманов, А. И. Билалова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 2
3. Воронов, И. В. Обзор типов искусственных нейронных сетей и методов их обучения [Текст] / И. В. Воронов, Е. А. Политов, В. М. Ефременко // Вестник Кузбасского государственного технического университета. Кемерово : Изд-во КузГТУ, 2007. -№ 3. – С.38-42. – ISSN: 1999-4125.
4. Продукты Statistica [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : http://statsoft.ru/products/STATISTICA_Neural_Networks/first-steps.php

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЕМ ПОТОКА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ АПК

Латин Д.Е. - студент группы Э-41, Кузнецов И.А. - студент группы Э-43,
Компанеев Б.С. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Зачастую качество электрической энергии в сельских районах не соответствует стандарту. При этом наиболее важным показателем является отклонение напряжения от номинального, так как наиболее распространенной нагрузкой в электрических сетях сельской местности являются: осветительные, нагревательные приборы и выпрямительные устройства. На которые несинусоидальность и несимметрия напряжения не оказывают влияние, а для нарушения прочих показателей качества в сельских электрических сетях нет причин.

На данный момент эта проблема решается разными способами при этом наиболее распространенными являются: увеличение сечения провода, уменьшение длины линий электропередач за счет увеличения числа подстанций, распределение нагрузок по фазам. Однако, первые два способа ведут к большим капитальным затратам, третий же малоэффективен.

Предлагается решение этой проблемы путем установки компенсирующего устройства в конце линии. Это позволит во первых проводить компенсацию реактивной нагрузки и тем самым уменьшать падение напряжения в линии, а в режиме перекомпенсации при протекании емкостного тока по индуктивному сопротивлению провода происходит обратное падение напряжения. Таким образом, можно увеличить напряжение у потребителя, не затрачивая больших денежных средств. Так как регулирование напряжения при помощи компенсирующего устройства имеет нелинейный характер, что может привести к перенапряжению в линии, следует установить основные зависимости напряжения от емкости конденсаторной батареи при разных условиях. Рассмотрим наиболее простой вариант: присоединение одного потребителя и компенсирующего устройства в конце линии (рисунок 1).

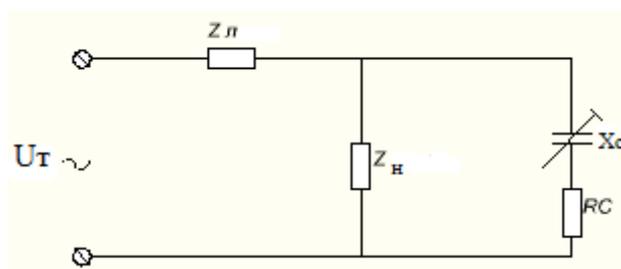


Рисунок 1 – Схема замещения линии с одним потребителем

На рисунке 1 представлена схема замещения линии где: U_T – напряжение на выходе трансформатора, Z_L – полное сопротивление линии, Z_N – полное сопротивление нагрузки, X_C – реактивное сопротивление емкости, R_C – активное сопротивление емкости. Поперечной проводимостью линии пренебрегаем, так как она несравнимо мала по отношению к Z_L и Z_N соответственно.

Для удобства расчета складываем последовательно соединенные элементы,

$$X_C + R_C = Z_C,$$

где Z_C – полное сопротивление компенсирующего устройства.

В свою очередь

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C},$$

где f – частота тока в сети;

C – емкость компенсирующей установки.

Преобразуем элементы Z_N и Z_C с учетом параллельного соединения:

$$Z_{NC} = \frac{Z_N * Z_C}{Z_N + Z_C},$$

где Z_{NC} - сумма параллельно соединенных элементов.

Для расчета напряжения следует знать сопротивление линии и ток, протекающий по ней. Сопротивление линии легко найти по ее удельному сопротивлению и длине:

$$Z_L = L * z_0,$$

где L – длина линии;

z_0 – удельное сопротивление линии.

Ток линии найдем по закону Ома:

$$I = \frac{U_T}{Z_{л} + Z_{нс}}$$

Найдем напряжение потребителя по второму закону Кирхгофа:

$$U_H = U_T - I * Z_{л}$$

Для линии выполненной проводом АС-35 и длиной 1км зависимость напряжения от емкости применяемого компенсирующего устройства, при различных уровнях нагрузки представлены на рисунке 2.

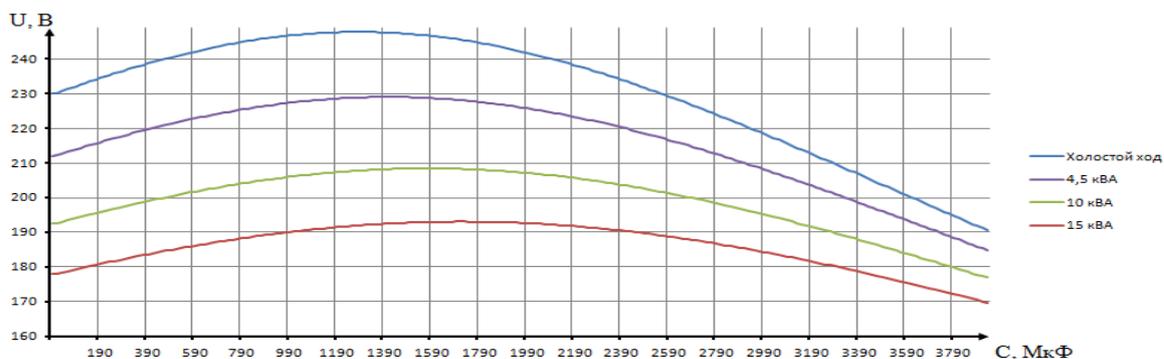


Рисунок 2 - Зависимость напряжения потребителя от емкости в точке присоединения при $\cos \varphi = 0,9$

Нелинейность графиков напряжений (рисунок 3) обусловлена тем, что ток при увеличении емкости становится больше, а доля емкостного тока уменьшается. Смещение точки критического напряжения обусловлено тем, что некоторая доля реактивной энергии генерируемой компенсирующим устройством идет на компенсацию реактивной мощности потребителя.

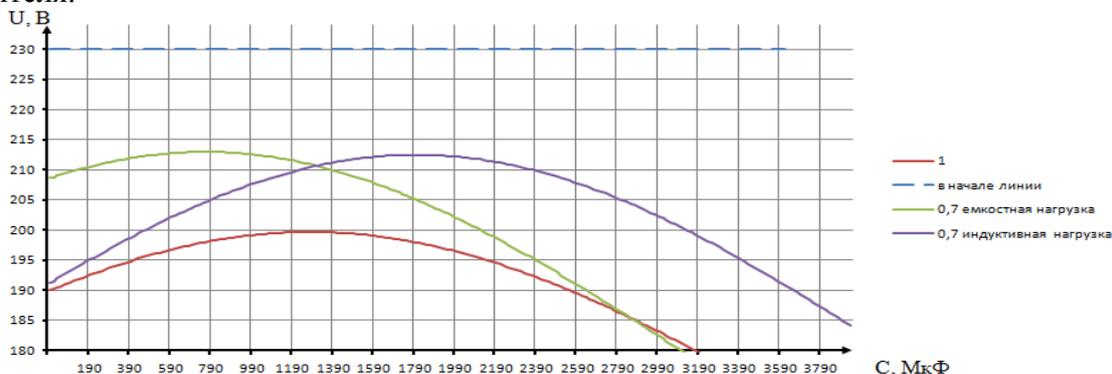


Рисунок 3 - Зависимость напряжения потребителя от емкости в точке присоединения при $S_{нагр.} = 11$ кВА

Из графика на рисунке 4 можно сделать вывод о том, что положение точки критического напряжения сильно зависит от количества потребляемой или генерируемой реактивной мощности потребителя. Кроме этого, прибавка напряжения явно зависит не от $\cos \varphi$, а от количества активной мощности потребителя. Однако от $\cos \varphi$ зависит напряжение без компенсирующего устройства, поскольку, чем ближе угол сопротивления нагрузки к углу сопротивления провода, тем ближе геометрическая сумма падений напряжений на этих элементах к алгебраической.

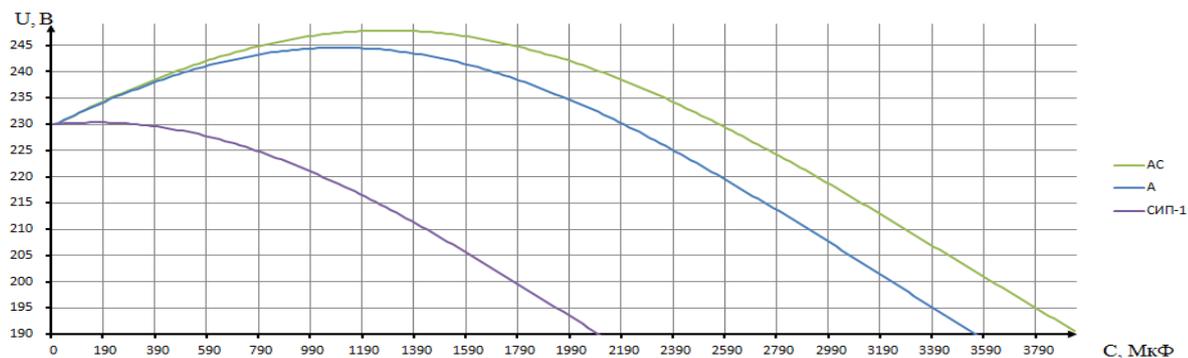


Рисунок 4 - Зависимость напряжения от емкости в конце линии без нагрузки выполненной разными марками провода сечением 35мм^2

Из графика (рисунок 4) видно, что эффективность регулирования сильно зависит от типа используемого провода, из чего можно сделать вывод, что соотношение активного и индуктивного сопротивления является критичным для данного способа регулирования.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что грамотное внедрение компенсирующих устройств в электрические сети сельской местности позволит заметно улучшить качество электрической энергии, избегая больших капитальных вложений. Кроме того использование компенсирующих устройств в качестве устройства регулирования напряжения позволит значительно увеличить целесообразную длину сетей низкого напряжения, соответственно уменьшить количество подстанций для местностей с низкой плотностью нагрузки.

Список использованных источников:

1. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии [Текст] : учеб.пособие: [для вузов по направлению «Электроэнергетика»] / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 721 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст]: Учебник: [для студентов высших учебных заведений технического профиля] / Л. А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2000.
3. Карапетян, И.Г. Справочник по проектированию электрических сетей [Электронный ресурс] / И. Г. Карапетян, Д.Л. Файбисович, И.М. Шапиро; под ред. Д.Л. Файбисовича. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2012. - 376 с. - ISBN 978-5-4248-0049-8. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=38546

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РАСЦЕПИТЕЛЬ ДЛЯ ЗАЩИТНО-КОММУТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ДО 1 кВ

Мазепа Д. И. – студент группы Э-41, Попов А. Н. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Одним из перспективных направлений развития энергетики в России в настоящее время является широкое внедрение различных устройств автоматики, которые должны повысить надежность электрических систем, обеспечить более глубокий анализ процессов, происходящих в системе. В электрических сетях всё большую популярность набирают микропроцессорные устройства, которые обладают высокой гибкостью, имеют возможность быстрой перенастройки и даже значительного изменения алгоритмов управления без существенных затрат [1].

Так, в электрических сетях до 1 кВ начинают использоваться микропроцессорные расцепители для автоматических выключателей, которые обеспечивают разнообразный выбор настроек защитного аппарата, необходимых пользователю, точность выполнения

заданной программы, обеспечение большинства видов защит с помощью одного устройства [2].

Несмотря на то, что используемые автоматические выключатели с микропроцессорными расцепителями имеют достаточное количество достоинств, они имеют и существенный недостаток: данные аппараты необходимо устанавливать на каждое присоединение, что приводит к значительным затратам.

Разработанное устройство позволяет контролировать несколько присоединений с помощью одного прибора.

На первом этапе проектирования была разработана схема подключения устройства, изображенная на рисунке 1.

Управление защитно-коммутационной аппаратурой осуществляется с помощью микропроцессорного расцепителя (МПР), который путем подачи команды на независимый расцепитель, установленный в автоматическом выключателе, обеспечивает выполнение защитных функций. Контроль осуществляется для каждой фазы присоединения через трансформаторы тока.

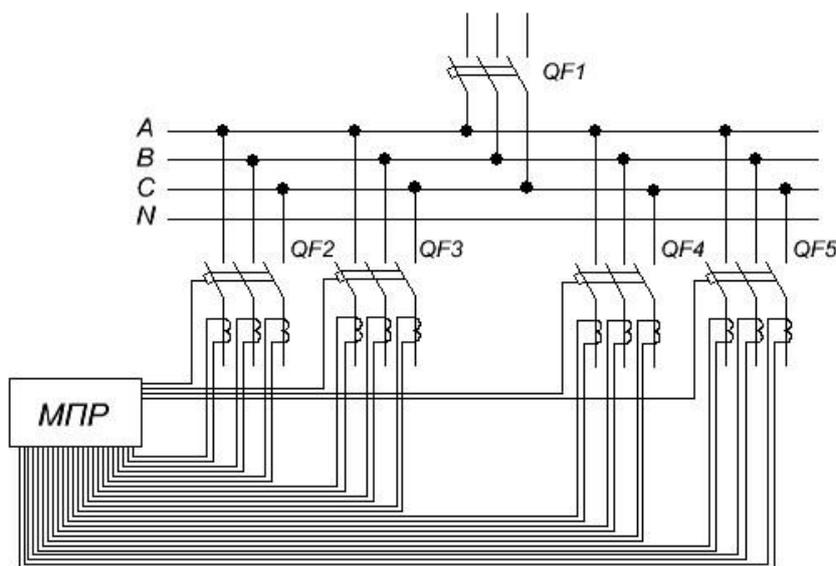


Рисунок 1 – Схема подключения микропроцессорного расцепителя

Далее была разработана структурная схема устройства, приведённая на рисунке 2.

Входной преобразователь присоединения (ВПП) осуществляет преобразование входной величины тока и напряжения в эквивалентное значение напряжения, подающегося на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), который в свою очередь преобразует его в цифровой эквивалент. Далее сигнал поступает на микроконтроллер (МК), который при превышении какой-либо уставки при помощи устройства формирования управляющего воздействия (УФУВ) подает управляющий сигнал (УС) на срабатывание расцепителя [3].

При проектировании устройства разработана программа, обеспечивающая защиту электрических сетей от токов короткого замыкания и перегрузки. Время-токовая характеристика разработанного расцепителя соответствует время-токовой характеристике автоматических выключателей с микропроцессорными расцепителями. В зависимости от выбранных настроек и уставок изменяется время, по истечении которого сработает защитное устройство.

Устройство имеет регулируемую уставку по току, при превышении которой мгновенно срабатывает защита от тока КЗ.

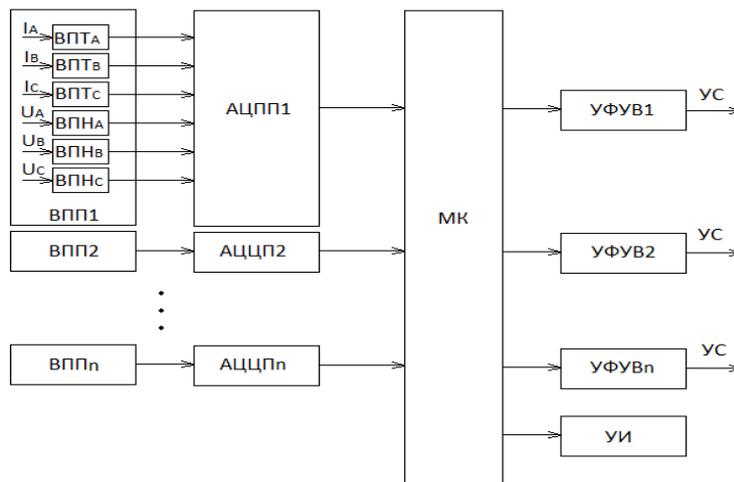


Рисунок 2 – Структурная схема микропроцессорного расцепителя

Защита от перегрузки имеет регулируемую уставку по времени срабатывания. Уставка выбирается для тока, превышающего номинальный ток аппарата в 6 раз. Это выполнено с той целью, чтобы при пуске двигателей защитное устройство не реагировало на пусковой ток, который превышает номинальный ток двигателя, в течение заданного промежутка времени.

В программе устройства заложена функция тепловой памяти, которая является эмуляцией работы теплового расцепителя автоматического выключателя.

Процесс нагрева биметаллической пластины смоделирован при помощи переменной p , значение которой постепенно увеличивается при превышении уставки тока. Скорость, с которой увеличивается значение p , тем больше, чем больше превышение фактически протекающего через автоматический выключатель тока его номинального значения. Расцепитель срабатывает, когда значение переменной p станет равным 1. При срабатывании расцепителя значение p будет постепенно уменьшаться, что позволяет защите от перегрузки быстрее срабатывать, если сразу после отключения автоматического выключателя микропроцессорным расцепителем его вновь включают. Если значение переменной p не достигнет 1, а ток снизится ниже номинального, то данное значение будет уменьшаться, что является эмуляцией процесса остывания биметаллической пластины.

Функция тепловой памяти позволяет более точно смоделировать защиту электрических сетей от перегрузки при помощи автоматических выключателей с тепловыми расцепителями.

Внедрение прибора позволит повысить надежность защиты электрических сетей и снизить расходы за счёт возможности контролировать с одного устройства несколько присоединений.

Список использованных источников:

1. Рыбин, А. В. Устройство для защиты электрических цепей от токов перегрузки и коротких замыканий [Электронный ресурс] / А. В. Рыбин, А. А. Фукс, А. Н. Попов // Энергоэффективность и энергоресурсосбережение – 2011 – Барнаул: «ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» – С. 26-27. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23286380>

2. Попов, А. Н. Разработка устройства контроля технических параметров защитно-коммутационных аппаратов напряжением до 1000 В [Электронный ресурс] / А. Н. Попов, И. А. Ащеулов // Молодежь – Барнаул – 2014 – Барнаул: «Алтайский государственный

медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации» – С. 378-379 – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24077491>

3. Мазепа, Д. И. Повышение надежности защиты сетей 0,4 кВ при помощи автоматических выключателей с микропроцессорным расцепителем [Текст] / Д. И. Мазепа // Молодежь – Барнаулу : материалы XVII – XIX городской научно-практической конференции молодых ученых / гл. ред. Ю. В. Анохин – Часть XIX. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2018 – с. 512 – 515. – ISBN 978-5-7904-2263-8

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАРКИ И СЕЧЕНИЯ ПРИМЕНЯЕМОГО ПРОВОДНИКА

Сабельников А.С. – студент группы Эпр - 42, Компанеец Б.С. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Воздушные линии электропередач, как и любые другие технические системы должны соответствовать определенному уровню надежности. Надежность ВЛЭП – это способность поддерживать заданные параметры установленное время.

Надежность элементов сети определяется из статистических данных и известна для применяемых элементов. В то же время исследование надежности ВЛЭП производится в зависимости от номинального напряжения линии. При этом, например, ВЛЭП 10(6) кВ имеют следующие показатели надежности, представленные в таблице 1. [1]

Таблица 1 – Единичные показатели надежности воздушных линий электропередач

Номинальное напряжение, кВ	Средняя частота устойчивых отказов, 1/100 км·год	Среднее время восстановления, ч	Средняя частота плановых простоев, 1/год	Среднее время планового простоя, ч
6...10	7,6	5	0,17	6

Легко видеть, что данный подход имеет недостатки, а именно надежность всех возможных линий электропередач подведены под одно значение, поэтому статистика может не учитывать некоторые факторы.

Можно предположить, что надежность ВЛЭП связана с сечением и маркой применяемого провода, которым выполнена данная линия, но сама взаимосвязь сложна, так как с увеличением сечения проводника возрастает его механическая прочность, но при этом возрастает вес, а, следовательно, возрастает механическая нагрузка на сам проводник и крепежную арматуру. На сегодняшний день подобная статистика отсутствует даже в электросетевых компаниях. В настоящее время не установлено зависимости надежности от сечения проводника.

В связи с этим была поставлена задача исследовать вероятность аварийного выхода из строя ВЛЭП в зависимости от марки и сечения проводника.

Идея заключается в исследовании аварийных отключений воздушных линий электропередач 10(6) кВ различного сечения в ПАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго».

Кроме данных о самих линиях электропередач обрабатывались данные о отдельных пролетах формирующих воздушную линию, данная информация является необходимой, так как при строительстве линии отдельные ее участки могут выполняться различным сечением проводников.

Методика исследования заключается в том, чтобы подсчитать количество отключений, в среднем приходящееся на один год для каждой рассматриваемой воздушной линии электропередач. Статистка берется за три-четыре года. Затем подсчитывается средняя величина аварийных отключений по группе воздушных линий электропередачи определенного сечения и модели. После чего находится средняя протяженность воздушных линий электропередачи по группе определенного сечения. Из этих двух показателей

ГОРИЗОНТЫ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫПУСК 20 2018

получаем среднюю вероятность аварийного отключения за один год на один километр провода определённого сечения и марки или повреждаемость.

В ходе работы были обработаны сведения о более чем 11 000 воздушных линий электропередач, каждая из которых состоит из огромного числа пролетов. При этом были обработаны сведения об аварийных повреждениях данных воздушных линиях электропередач за три года, а именно за 2015, 2016 и 2017 года. За рассматриваемый период на данных линиях было произведено более 2500 отключений, однако стоит отметить, что в число данных отключений входят разнообразные причины, в том числе и не относящиеся к самим воздушным линиям.

При этом причины аварийных отключений можно разделить на несколько видов:

- повреждения, возникающие на смежных элементах (кабельные муфты, отпайки, разрядники и т.д.);
- повреждения, не связанные с воздушной линией электропередач (механические разрушения в следствии падения веток и деревьев, воздействия птиц, атмосферные перенапряжения и т.п.);
- повреждения элементов, связанные с применяемыми марками и сечениями проводников воздушных линий электропередач (разрушение провода при длительной эксплуатации, срыв изолятора с опорного крюка, повреждения опорных изоляторов и т.п.);
- повреждения элементов, не связанные с применяемыми марками и сечениями проводников воздушных линий электропередач (срыв изолятора с опорного крюка, наклон опор линии электропередач, выдавливание опоры и т.п.).

Анализ был направлен на повреждения элементов, связанные с применяемыми марками и сечениями проводников воздушных линий электропередач. Результаты анализа повреждаемости линий электропередач, связанные с сечением провода представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные данные об удельной повреждаемости проводов различных марок

Марка провода	удельная повреждаемость проводников, ед./1000 км.				Протяженность линий, км.
	2015	2016	2017	2015-2017	
A-35	0,0107	0,0094	0,0114	0,0105	4375497
A-50	0,0149	0,0116	0,0168	0,0144	6906123
A-70	0,0116	0,0093	0,0128	0,0113	3436892
A-95	0,0040	0,0080	0,0080	0,0067	1244934
A-120	0,0000	0,0000	0,0041	0,0014	241884
Итого А	0,0120	0,0101	0,0136	0,0357	16205330
АС-25/4,2	0,0158	0,0316	0,0000	0,0158	63364
АС-35/6,2	0,0124	0,0139	0,0046	0,0103	645781
АС-50/8,0	0,0138	0,0117	0,0112	0,0122	1882386
АС-95/16	0,0103	0,0154	0,0154	0,0137	194945
Итого АС	0,0133	0,0129	0,0097	0,0359	2786476
АН-35	0,0144	0,0144	0,0191	0,0159	209066
АН-50	0,0126	0,0126	0,0042	0,0098	238906,8
АН-70	0,0000	0,0042	0,0126	0,0056	238906,8
Итого АН	0,0087	0,0102	0,0116	0,0306	686879,6
ПС-25	0,0104	0,0087	0,0095	0,0095	1153732
ПС-35	0,0000	0,0069	0,0207	0,0092	144681,1
Итого ПС	0,0092	0,0085	0,0108	0,0285	1298413
АП-50	0,0128	0,0128	0,0000	0,0085	78149
АЖ-35	0,0290	0,0000	0,0000	0,0097	34470
АСУ-70	0,0327	0,0000	0,0000	0,0109	30554

Анализировать данные целесообразно как по маркам проводов, так и по сечениям внутри одной марки провода.

Провода марок А и АС имеют практически равную удельную повреждаемость, повреждаемость проводов марки АН меньше примерно на 15%, для проводов марок ПС, АП, АЖ и АСУ анализировать данные нецелесообразно, т.к. количество повреждений для проводов этих марок незначительно, следовательно, полученные данные имеют низкую степень точности.

На рисунке 1 представлена зависимость повреждаемости воздушных линий электропередач от сечения применяемых проводников.

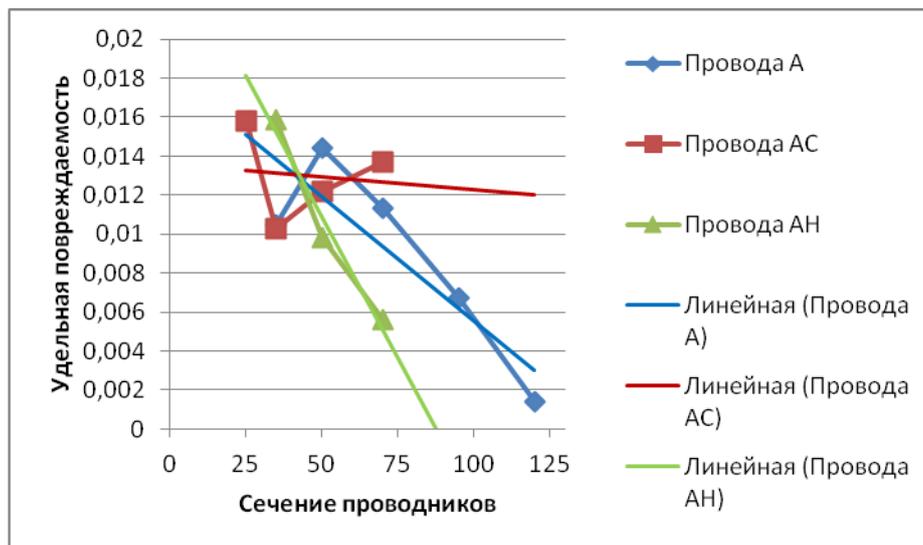


Рисунок 1 – Зависимость повреждаемости от сечения проводников воздушных линий электропередач

Из анализа рисунка видно, что по каждому типу проводника с увеличением применяемого сечения снижается удельная повреждаемость воздушных линий, а значит, что с увеличением сечения применяемых проводников увеличивается надежность электроснабжения.

Так как полученная повреждаемости имеет различный и не сравнимы с традиционным методом характер для ее учета в определении надежности ВЛЭП имеет смысл ввести коэффициент в относительных единицах для усредненного значения повреждаемости, который приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициент повреждаемости в относительных единицах

Марка провода	Усредненный коэффициент	Сечения проводника и относительные единицы					
		25	35	50	70	95	120
А	0,00886	-	0,84	0,62	0,78	1,32	6,33
АС	0,01300	0,82	1,26	1,07	0,95	-	-
АН	0,01043	-	0,66	1,06	1,86	-	-

Вероятность аварийного выхода из строя воздушной линии электропередачи в зависимости от марки и сечения проводников, прежде всего, находит свое применение при проектировании распределительных сетей. В особенности при технико-экономических расчетах.

Данное исследование имеет потенциальное стремление выявить экономию и показать, как изменятся технические показатели такие как надежность при применении результатов исследования в проектировании.

С экономической стороны анализ показывает, что при увеличении сечения проводников достигается снижение эксплуатационных затрат, но увеличение единовременных вложений. Одновременно с этим из-за увеличения надежности произойдет увеличение количества отпускаемой электроэнергии, а из-за увеличения сечения будут снижены электрические потери.

Список использованных источников:

1. Шеметов, А. Н. Надежность электроснабжения [Текст] : учеб. пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» (по отраслям) / А. Н. Шеметов. Магнитогорск : Изд-во ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова», 2006. – 141 с.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ЕГО СОСТОЯНИЯ

Свит С.Н. – студент группы 8Э-61, Грибанов А.А. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Одним из ответственных элементов энергосистем с точки зрения их надёжной работы являются силовые трансформаторы. Обеспечить высокую эффективность использования силовых трансформаторов можно только при условии наблюдения за техническим состоянием и отсутствием дефектов в отдельных узлах [1].

В связи с наличием экономических трудностей в ближайшее время существенного обновления парка силовых трансформаторов наблюдаться не будет. Поэтому необходимо решение задачи поддержания надёжной работы уже эксплуатирующихся трансформаторов. Одним из путей решения указанной задачи является своевременное обнаружение и устранение выявленных дефектов.

При моделировании состояния какого-либо объекта приходится иметь дело с многофакторными зависимостями, когда значение показателя или группы показателей определяется поведением не одного, а сразу многих факторов. От многофакторной прогнозной модели можно ожидать большей точности, поскольку она подразумевает учёт ряда особенностей оборудования, более подробно отражает характер процессов, происходящих в нём, и, следовательно, моделирует реальность более подробно.

В настоящее время, согласно руководящему документу, для трансформаторов 110 кВ и выше обязательно выполнения хроматографического анализа растворённых в масле газов (ХАРГ). Интерпретация результатов анализа позволяет решить ряд задач:

- выявление наиболее вероятных мест повреждения трансформатора на основе анализа дефектов, встречавшихся на трансформаторах аналогичного вида;
- оценка состояния твердой изоляции (увлажнение, загрязнение, деструкция);
- оценка состояния магнитной системы (прессовка, потери, изоляция элементов от бака и т.п.);
- оценка системы охлаждения, очистки и защиты масла;
- оценка состояния вводов;
- оценка состояния регуляторов напряжения и контактной системы [2].

Ввиду довольно высокой периодичности ХАРГ, возможно использование значений концентраций пяти основных газов для оценки состояния трансформатора на основе многофакторной регрессионной модели. Такие параметры качества трансформаторного масла, как пробивное напряжение, температура вспышки и кислотное число также обладают диагностической ценностью [3].

Учёт данных показателей позволит получить более полное представление о состоянии трансформатора. Однако, следует отметить, что множество факторов, которые также являются значимыми, включить в модель невозможно, т.к. имеет место дефицит данных по отдельным видам измерений и невозможность их сопоставления по времени проведения с другими видами испытаний.

В общем виде линейная многофакторная модель записывается следующим образом:

$$Y_t = a_0 + a_1 x_{1t} + a_2 x_{2t} + a_i x_{it} + \dots + a_{ni} x_{nt} , \quad (1)$$

где Y_t – прогнозируемый показатель; a_n – коэффициент модели; x_n – значение фактора, оказывающего влияние на объект.

В качестве объекта исследования выступает силовой трансформатор ТМН-6300/110/10 (1987 год выпуска). На основе имеющихся данных результатов ХАГР и упомянутых ранее параметров качества трансформаторного масла, приведенных в таблице 1, выполним расчёт параметров модели, получим искомое уравнение. Результирующим (прогнозируемым) параметром примем индекс состояния трансформатора, который представляет собой меру приближения каждого из параметров к граничному значению.

Таблица 1 – Результаты измерений и параметр состояния

Год / № полугодия	Результаты ХАГР					Результаты анализов масла на качество			Индекс состояния [Y]
	H ₂ , % [x ₁]	C ₂ H ₂ , % [x ₂]	C ₂ H ₄ , % [x ₃]	C ₂ H ₆ , % [x ₄]	CH ₄ , % [x ₅]	Пробивное напряжение, кВ [x ₆]	Температура вспышки, °С [x ₇]	Кислотное число, мгКОНГ [x ₈]	
2012 / 1	0,00022	0,00013	0,00018	0,00019	0,00012	65,9	147	0,045	0,834
2012 / 2	0,00023	0,00013	0,0002	0,00017	0,00012	67,6	147	0,044	0,839
2013 / 1	0,00028	0,00012	0,00029	0,00012	0,00013	61,2	146	0,045	0,819
2013 / 2	0,00022	0,00011	0,00028	0,0001	0,00012	56,4	145	0,048	0,802
2014 / 1	0,00022	0,00012	0,00028	0,00003	0,00024	57,0	146	0,049	0,805
2014 / 2	0,00038	0,00014	0,00033	0,00005	0,00018	57,6	146	0,048	0,803
2015 / 1	0,00031	0,0001	0,00032	0,00006	0,00013	57,8	147	0,049	0,813
2015 / 2	0,00025	0,00013	0,00032	0,00006	0,00019	55,1	145	0,047	0,797
2016 / 1	0,00026	0,00014	0,00045	0,00008	0,00002	53,4	142	0,043	0,784
2016 / 2	0,00017	0,0001	0,00016	0,0001	0,0001	50,8	140	0,04	0,781

Для установления связи между каждой парой факторов выполняется корреляционный анализ, который позволяет понять насколько взаимосвязь между факторами приближается к линейной. Для ответа на этот вопрос составляется матрица коэффициентов парной корреляции, так, как это приведено в таблице 2. Вычисление можно довольно быстро выполнить, например, с помощью средств MS Excel или программы анализа временных рядов EViews.

Таблица 2 – Матрица коэффициентов парной корреляции

	H ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CH ₄	U пробивное	t вспышки	Кислотное число	Индекс состояния
H ₂	1								
C ₂ H ₂	0,373	1							
C ₂ H ₄	0,561	0,404	1						
C ₂ H ₆	-0,378	0,099	-0,589	1					
CH ₄	0,162	-0,026	-0,187	-0,429	1				
U пробивное	0,074	0,292	-0,394	0,718	0,088	1			
t вспышки	0,423	0,187	-0,073	0,187	0,481	0,778	1		
Кислотное число	0,511	0,010	0,320	-0,487	0,655	0,121	0,701	1	
Индекс состояния	0,081	0,151	-0,432	0,658	0,175	0,984	0,836	0,215	1

Вид поля корреляции при сопоставлении каждого из факторов с индексом состояния представлен на рисунке 1. Также на графиках проведена эмпирическая линия регрессии.

Далее путём применения метода наименьших квадратов выполняются вычисления коэффициентов многофакторной модели. Сумма квадратов отклонений Q фактических отклонений от расчётных будет представлена так:

$$Q = \sum_t \varepsilon_t^2 = \varepsilon^T \cdot \varepsilon = (Y - XA)^T (Y - XA) = Y^T Y - 2A^T X^T Y + A^T X^T X A; \quad (2)$$

Дифференцируя по коэффициентам модели, и приравнивая к нулю полученные значения, можно в итоге определить выражение для определения матрицы оценки коэффициентов многофакторной модели, откуда легко получить коэффициенты уравнения регрессии:

$$A = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y; \quad (3)$$

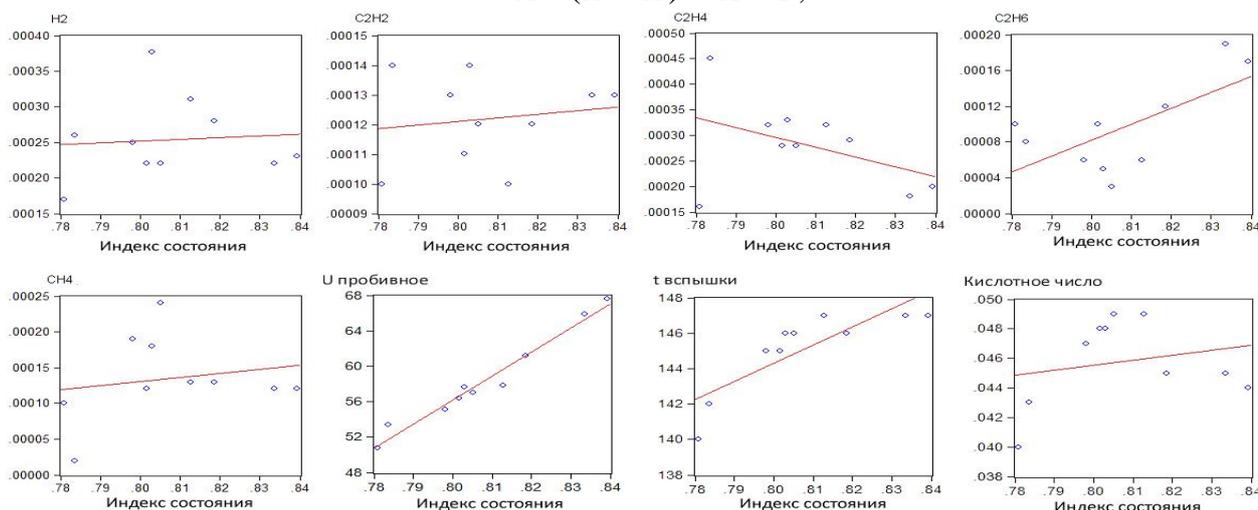


Рисунок 1 – Поле корреляции результирующего и влияющих факторов

Расчёт произведём с помощью программы Eviews. Результаты вычислений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты вычислений коэффициентов многофакторной модели

a_0	a_1 (H_2)	a_2 (C_2H_2)	a_3 (C_2H_4)	a_4 (C_2H_6)	a_5 (CH_4)	a_6 (U пробивно е)	a_7 (t вспышки)	a_8 (Кислот- ное число)
-0.00721	-19.75209	-92.66647	-12.95495	-16.25541	-11.24154	0.001896	0.005566	-1.751757

Подставив значения в уравнение (1), получим многофакторную модель следующего вида:

$$Y_t = -0,0007 - 19,752x_{1t} - 92,666x_{2t} - 12,955x_{3t} - 16,255x_{4t} - 11,242x_{5t} + 0,002x_{6t} + 0,006x_{7t} - 1,751x_{8t};$$

Полученная многофакторная модель будет использоваться для определения интегрального диагностического параметра, по значениям которого можно определить насколько необходимо оперативное вмешательство для повышения эксплуатационных характеристик силовых трансформаторов.

Список использованных источников:

1. Алексеев, Б. А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов [Текст] / Б. А. Алексеев. – Москва : ЭНАС, 2002. – 216 с. – (Основное электрооборудование в энергосистемах. Обзор отечественного и зарубежного опыта). : ил. – ISBN 5-931961-65-8.
2. Смекалов, В. В. Оценка состояния и способы продления срока службы силовых трансформаторов [Текст] / В. В. Смекалов, А. П. Долин, Н. Ф. Першина, П. В. Тармогин // Современные методы и средства оценки технического состояния и продления сроков ГОРИЗОНТЫ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫПУСК 20 2018

эксплуатации высоковольтного оборудования энергосистем: материалы второго научно-технического семинара. – Москва, 2001. – С. 1-8.

3. Пробивное напряжение трансформаторного масла [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://leg.co.ua/info/transformatory/probivnoe-napryazhenie-transformatornogo-masla.html>

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГРУППЫ ТОЧЕК ПОСТАВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Серебряков Н. А. – аспирант группы 0ТМехЭ(з)-71, Хомутов С. О. – д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время существует множество математических моделей и программных продуктов для анализа больших объемов данных. В то же время ни одну из них нельзя назвать универсальной. В связи с возросшей мощностью персональных компьютеров появилась возможность применения нейронных сетей. Операции над матричными данными, которые описывают прохождение сигнала через нейронную сеть, на современном компьютере выполняется за считанные секунды.

Нейронные сети являются мощным инструментом для распознавания образов, аппроксимации и прогнозирования временных рядов. На основании многочисленных исследований можно сделать вывод, что нейронные сети различной архитектуры позволяют выполнять краткосрочное прогнозирование потребления электроэнергии с точностью, сопоставимой с точностью прогноза, выполненного методом экспертных оценок. При этом скорость прогнозирования нейронной сети на порядок выше.

Выбор типа нейронной сети является сложнейшей задачей. В первую очередь выбирается парадигма обучения. Существует несколько парадигм обучения:

- обучение с учителем;
- обучение на основе самоорганизации;
- обучение с подкреплением.

Для решения задачи прогнозирования потребления электроэнергии на сутки вперед хорошо подходит парадигма обучения с учителем, так как мы имеем статистическую базу по потреблению электроэнергии группы точек поставки (ГТП) за несколько лет. Другими словами, у нас имеется желаемый отклик нейронной сети – суточный график электрической нагрузки.

После выбора парадигмы обучения сети, необходимо выбрать архитектуру нейронной сети. Наиболее распространены сети прямого распространения и рекуррентные сети. Для прогнозирования временных рядов хорошо подходят нейронные сети прямого распространения. Рекуррентные сети используются для обработки текстов, где в памяти нейронной сети хранится по несколько сотен значений или символов.

Далее необходимо определиться с алгоритмом обучения сети. Существует несколько видов нейронных сетей прямого распространения, обучаемых с учителем:

- персептроны, обучаемые по алгоритму обратного распространения ошибки;
- сверточные нейронные сети;
- сети на основе радиальных базисных функций;
- машины опорных векторов.

Многослойные персептроны хорошо зарекомендовали себя при решении различных практических задач классификации образов, таких как распознавание рукописного текста MNIST и объектов на изображениях CIFAR-10. На рисунке 1 представлен граф передачи сигнала нейрона в многослойном персептроне.

Нейронная сеть имеет несколько гиперпараметров:

- момент инерции и скорость обучения ИНС;

- количество скрытых слоев;
- количество нейронов в каждом скрытом слое;
- наличие или отсутствие смещения функции активации.

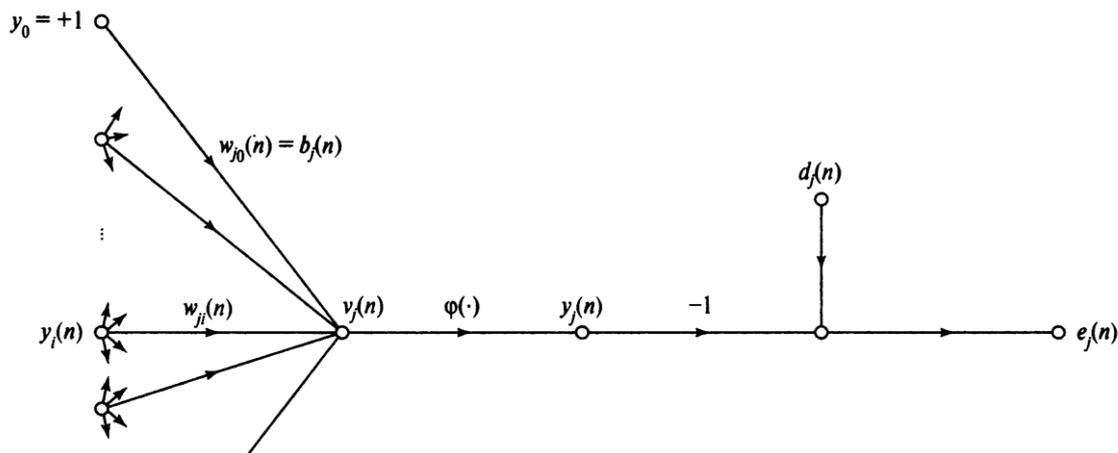


Рисунок 1 – Граф передачи сигнала нейрона в многослойном персептроне.

Выбор оптимального значения скорости обучения и момента инерции является важнейшей задачей при проектировании нейронной сети. Коррекция весов между нейронами происходит на основании градиентного спуска на поверхности ошибок:

$$\Delta w_{ij}(n) = -\eta e_j(n) \varphi'_j \left(\sum_0^n y_i(n) \right) + \alpha \Delta w_{ij}(n-1), \quad (1)$$

где $\Delta w_{ij}(n)$ – коррекция веса между нейронами i и j ;

n – итерация обучающего цикла;

η – параметр скорости обучения;

$e_j(n)$ – сигнал ошибки на выходе нейрона j ;

$\varphi'_j(\sum_0^n y_i(n))$ – производная функции активации на выходе нейрона;

α – момент инерции нейрона.

Спуск по поверхности ошибок при различных значениях параметра скорости обучения и момента представлены на рисунке 2.

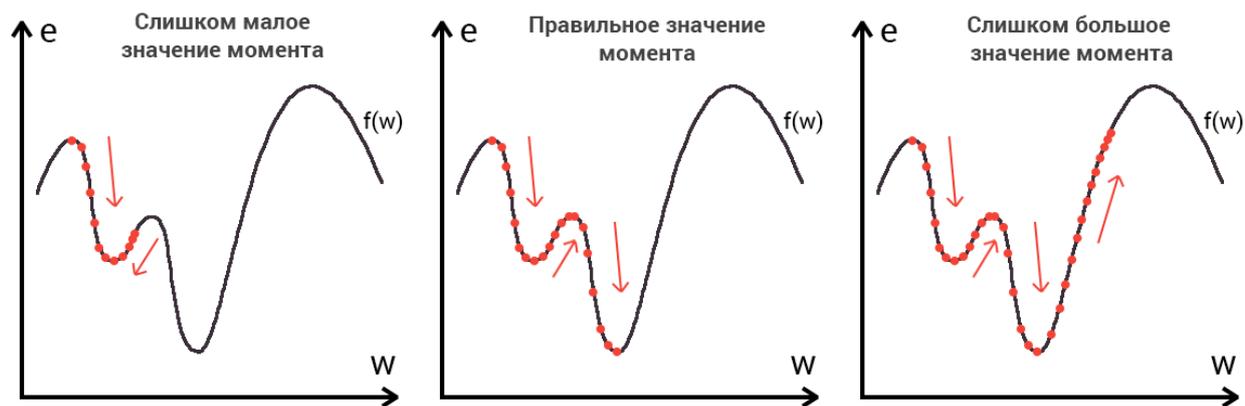


Рисунок 2 – Спуск по поверхности ошибок при различных значениях параметра скорости обучения и момента.

Количество скрытых слоев влияет на способность сети к обобщению входных данных. ИНС без скрытых слоев является обычным аппроксиматором (классификатором). Наличие скрытого слоя позволяет сети выявлять скрытые статистики и корреляции во входных данных.

Количество нейронов в скрытых слоях влияет на ассоциативную память ИНС. Малое количество нейронов в скрытом слое не позволяет сети выявить все тенденции временного ряда. Однако ИНС со слишком большим количеством нейронов теряет способность к обобщению, так как, в данном случае, все примеры из обучающей выборки запоминаются сетью. Такая ИНС достаточно точно прогнозирует изменения временного ряда на ретроспективных данных, но не способна, с достаточной точностью, прогнозировать значения временного ряда в будущем.

Несмотря на то, что математическое описание работы многослойных персептронов произошло в середине XX-го века, до сих пор нет формализованных методов определения гиперпараметров. Существуют лишь практические рекомендации, основанные на практике применения ИНС. Поэтому процесс проектирования нейронной сети является творческой работой. Нередко оптимальную архитектуру сети выбирают на основе многочисленных экспериментов с обучающей и тестовой выборкой.

Прогнозирование потребления электроэнергии ГТП, включающей сельскохозяйственных потребителей и население, является достаточно сложной, многофакторной задачей. Методом экспертных оценок были определены основные влияющие факторы: порядковый номер дня в году, порядковый номер дня в неделе, час суток, температура воздуха, дисперсия температуры, длительность светового дня, освещенность (облачность), наличие или отсутствие осадков, ремонты на сетевом оборудовании, режим работы крупных сельхозпотребителей.

Часть данных факторов не поддаются формализации и кодированию. Поэтому входными данными для сети выбраны первые шесть факторов. Также на вход сети подаются почасовые объемы потребления электроэнергии. В форме суточного графика электрической нагрузки учитываются такие факторы как облачность и наличие осадков, то есть при опросе сети используется суточный график из статистической базы, схожий по дню недели и состоянию неба.

Для краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии были использованы многослойные персептроны с различными значениями гиперпараметров. В таблице 1 представлены результаты прогнозирования потребления электроэнергии на сутки вперед.

Таблица 1 – Результаты прогнозирования потребления электроэнергии на сутки вперед

04.04.2018	3 слоя, постоянные момент и скорость обучения (sgd)	4 слоя, постоянные момент и скорость обучения (sgd)	4 слоя, адаптивный момент и скорость обучения (adam)	Ансамбль SGD	Ансамбль adam	Метод экспертных оценок
Ошибка прогноза MAE, %	0.774	0.75	0.703	0.703	0.696	0,764

Как мы видим из таблицы 1, применение изменяемых в процессе обучения момента и скорости обучения улучшает сходимость алгоритма к глобальному минимуму на поверхности ошибки в факторном пространстве. Также стоит отметить, что применение ансамблей (несколько параллельно работающих нейронных сетей с общим входом и выходом) улучшает качество прогнозирования. Можно сделать вывод, что многослойный персептрон адекватно описывает изменения временного ряда электрической нагрузки. Результаты прогнозирования нейронной сетью сопоставимы с результатами, полученными методом экспертных оценок.

Список использованных источников:

1. Аль Зихери Баласим, М. Повышение точности краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки потребителей региона с учетом метеофакторов на основе метода опорных векторов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : Мохаммед Аль Зехери Баласим. – Новочеркасск, 2015. – 181 с.
2. Соломахо, К. Л. Применение метода главных компонент для прогнозирования объемов электропотребления энергосбытового предприятия [Текст] : дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: Ксения Львовна Соломахо. – Челябинск, 2015. – 141 с.

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА ИНФРАКРАСНОГО ТЕРМОГРАФИРОВАНИЯ

Тыштыкбаева А.Е. – студент группы Э-41, Попов А.Н. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Комплексному воздействию электрических полей, электромагнитных и тепловых полей и электродинамических усилий подвержено электроэнергетическое оборудование, что может привести к образованию дефектов, неисправностей и отказов. В свою очередь они приводят к сокращению срока службы оборудования, а так же к сбоям в электроснабжении. При нормируемых показателях надежности и необходимости сокращения затрат на техническое обслуживание и ремонт, обеспечение рациональной эксплуатации электрооборудования достигается путем получения достоверной информации о фактическом состоянии электрооборудования в процессе эксплуатации на основе измерения, анализа, контроля, и обработки качественных и количественных значений параметров электрооборудования. Следовательно, большая роль в современной энергетике отводится методам и средствам диагностирования.

Необходимость диагностирования электрооборудования подтверждает аналитический отчет о состоянии аварийности за 12 месяцев 2015 года. Основные причины технологических нарушений по ПАО «МРСК Сибири» представлены на рисунке 1. Наибольшее число технологических нарушений за 12 месяцев 2015 года произошло из-за: воздействия стихийных явлений, несоблюдения технического обслуживания и ремонта, неклассифицированных причин.

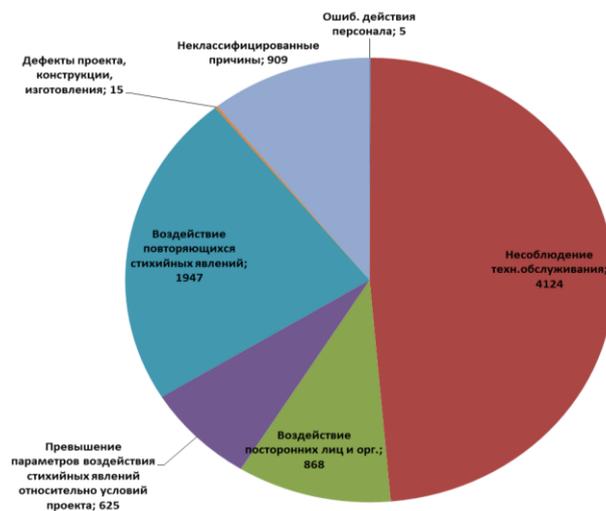


Рисунок 1 – Основные причины технологических нарушений по ПАО «МРСК Сибири» за 12 месяцев 2015 года

Учитывая распределение причин технологических нарушений и действующих в Обществе программ повышения надёжности электроснабжения потребителей электрической энергии, необходимо проанализировать систему выявления, фиксации и планирования устранения дефектов электросетевых объектов, а также систему качества диагностики (испытаний) электросетевых объектов, включая соответствие фактических методов и условий испытаний нормативным требованиям.

Методы диагностирования электрооборудования подразделяются на группы: методы разрушающего и неразрушающего контроля. Методы неразрушающего контроля – контроль материалов, не требующий разрушения образцов материал. Методы разрушающего контроля – контроль материалов, требующий разрушения образцов материала. Все методы неразрушающего контроля также подразделяются на методы в зависимости от принципа. Ниже представлены основные методы, согласно ГОСТ Р56542-2015, применяемые для электротехнического оборудования [1]:

- акустический;
- магнитный;
- радиационный;
- радиоволновой;
- тепловой;
- электрический;
- вихретоковый;
- оптический;
- проникающими веществами (капиллярный и течеискания).

Так как в большинстве случаев первым показателем при отличном от нормального режима работы электрооборудования является изменение температуры. А тепловые методы контроля базируются на оценке, измерении, анализе температуры объектов. То целесообразно применять такой метод диагностики как тепловой.

А наиболее перспективным направлением тепловой диагностики является инфракрасное термографирование, так как оно базируется на интенсивном инфракрасном излучении при нагреве оборудования. Можно выделить основные достоинства инфракрасного термографирования: [2]

- возможность выявления неисправности на ранней стадии;
- подходит для большинства типов подстанционного оборудования;
- достоверность, объективность и точность получаемых сведений;
- отсутствует необходимость подготовки рабочего места и в отключении оборудования;

– обеспечивает безопасность персонала при проведении обследования.

А к недостаткам относят высокую стоимость тепловизоров – устройств для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности, и как следствие отсутствие возможности постоянного диагностирования, так как диагностика с помощью тепловизоров носит плановый характер.

На устранение этих недостатков направлен данный проект в сфере тепловизионной диагностики. Он учитывает необходимость проводить диагностику без вывода из работы оборудования, что является приоритетным, так как при этом не нарушается электроснабжение потребителей. Разрабатываемое устройство состоит из микроконтроллера, предназначенного для управления электронными устройствами, блока питания, двух сервоприводов, образующих сервомеханизм для движение по горизонтали и вертикали, и основного элемента – датчика температуры, с помощью которого происходит сбор данных о температуре объекта и окружающей среды. Полученные данные обрабатываются микроконтроллером, преобразуются в теплограмму – изображение в инфракрасных лучах, показывающее картину распределения температурных полей, и передаются на сервер для хранения и дальнейшей обработки. Таким образом, мы получаем файл на сервер с наглядным изображением распределения температуры. На рисунке 2 представлена структурная схема разрабатываемого устройства и его взаимосвязь с энергоснабжающей организацией. Данное устройство является устройством местной установки и имеет небольшие габариты, что позволяет устанавливать его непосредственно вблизи оборудования. Так же имеется возможность запрограммировать прибор на различную периодичность сканирования. Что позволит получать достоверные сведения по фактическому состоянию оборудования на любой момент времени. А так как информация будет храниться на сервере, это позволит проводить анализ состояния оборудования при различных режимах работы, составлять отчеты и делать выводы о причинах возникновения аварийных ситуаций. К тому же прибор состоит из более дешевых компонентов, по сравнению с тепловизорами, но при этом обладает высокой чувствительностью и точностью измерений.

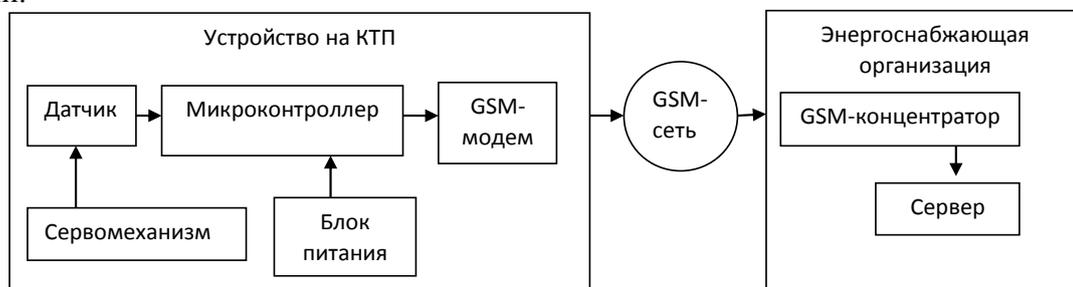


Рисунок 2 – Структурная схема устройства диагностики электрооборудования и его связь с энергоснабжающей организацией

Таким образом данное устройство диагностирования электрооборудования с помощью инфракрасного термографирования позволит контролировать тепловой режим электрооборудования без вывода из эксплуатации в любой момент времени, выявлять дефекты на ранней стадии их развития, то есть до возникновения аварийной ситуации, а следовательно сократить затраты на ремонт, при меньших денежных затратах на диагностику.

Список использованных источников:

1. ГОСТ Р 56542-2015 Контроль неразрушающий классификация видов и методов [Текст]. – Москва : Изд-во Стандартиформ, 2016 – 10 с.
2. Хальясмаа, О. И. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций : Учеб. пособие [Текст] / А. И. Хальясмаа, С. А. Дмитриев, С. Е. Кокин, Д. А. Глушков. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 64 с.