

ний элементов КА;

ДМ – датчик мощности N , потребляемой электроприводами работающих компрессоров станции;

ДД – датчик давления Р сжатого воздуха;

Q_i – производительность i -го КА;

\bar{X} – вектор контролируемых теплотехнических параметров и состояния одного КА;

\bar{U} – вектор управляющих воздействий на рабочий и исполнительные приводы одного КА;

\bar{X}_{BA} – вектор контролируемых параметров и состояний вспомогательных агрегатов станции;

\bar{U}_{BA} – вектор управляющих воздействий на приводы и узлы вспомогательных агрегатов станции.

При этом управляющий компьютер выполняет следующие функции:

- формирование и задание команд ПУСК/СТОП контроллерам компрессорных агрегатов;

- стабилизация давления сжатого воздуха в пневмосистеме, измеряемого датчиком давления ДД в коллекторе станции путем изменения, в соответствии с результатом измерения давления, производительности и количества работающих компрессорных агрегатов;

- автоматический вывод компрессорных агрегатов из рабочего состояния в резерв и ввод их в работу из резерва при отказе работающих КА, а так же для поддержания заданного давления в пневмосети;

- автоматическое управление включением/отключением вспомогательных агрегатов ком-

прессорной станции (системы охлаждения, системы смазки КА и др.);

- непрерывное вычисление показателя экономичности работы компрессоров, представляющего собой удельные энергозатраты станции на производство 1 м³ сжатого воздуха: $a = \frac{N}{Q} \left[\frac{\kappa Bm * \eta}{M^3} \right]$,

где N – мощность, потребляемая из сети электродвигателями работающих компрессоров и измеряемая датчиком ДМ в системе электропитания; Q – расход сжатого воздуха, измеряемый датчиком ДР на выходе из коллектора компрессорной станции. Оперативный персонал или УК, используя показатель удельных энергозатрат, при наличии средств регулирования в пневмосети могут поддерживать оптимальное давление сжатого воздуха у потребителя;

- визуализация состояния и параметров работы компрессорной станции.

Пуск/останов компрессорных агрегатов станции осуществляется по кольцевой схеме в соответствии с номерами, присвоенными компрессорным агрегатам при предварительной конфигурации системы управления.

Программируемые логические контроллеры выполняют функции локальных управляющих устройств, обеспечивая автоматическое управление, контроль и защиту отдельных компрессорных агрегатов. В качестве ПЛК предлагается использовать технологические контроллеры таких известных производителей, как Tecon, Siemens, Advantech и др.

В качестве управляющего компьютера могут использоваться как промышленные, так и персональные компьютеры.

□ Автор статьи:

Медведев

Алексей Елисеевич

- канд. техн. наук, доц. каф.

электропривода и автоматизации

УДК 621.314.222

А.И. Артемов, В.А. Левченков

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

По оценке органов Росэнергонадзора Госстандarta России значение погрешности измерений электроэнергии, отпускаемой потребителям, достигает 13% [1]. Основной причиной этого является преобладающее влияние систематических погрешностей средств учёта, входящих в состав измерительных комплексов, в том числе измерительных трансформаторов напряжения (ТН), систематические погрешности которых могут достигать минус 2-3%.

Систематические погрешности ТН обусловлены, как правило, перегрузками или недогрузками их вторичных цепей. Кроме того, в эксплуатации могут находиться ТН, подвергавшиеся после аварийному ремонту, в процессе которого возможны существенные изменения параметров ТН. Причем, оценка погрешностей ТН после такого ремонта невозможна из-за отсутствия в большинстве энергосистем соответствующей измерительной техники и поверочных стендов. Поэтому имеются слу-

чаи, когда ТН даже при нормируемых нагрузках работают вне паспортного класса точности.

Для снижения погрешностей ТН используются различные методы [1,2,3], которые условно разделены на два вида: технологический и структурный.

Технологический основан на тщательном выборе ТН и обеспечении работы его в оптимальном по точности диапазоне измерений, освобождая вторичные цепи от избыточных нагрузок. Этот путь обычно связан с заметными материальными затратами.

Структурный путь основан на методах автоматической компенсации погрешностей и введении поправок в результаты измерений на действие систематической погрешности и др. Этот путь требует проведения предварительных исследований, диагностирование погрешностей и других метрологических характеристик ТН и учет их в окончательных результатах измерения в виде поправочных коэффициентов. Это эффективнее (в 5-10 раз), чем технологический путь. Такой метод широко применяется во всем мире, однако в электроэнергетике России при учете электроэнергии он до сих пор не нашел своего применения. Хотя предложения такие же уже имеются [1, 2]. Для его внедрения не создана достаточная законодательная база, методическое обеспечение и приборы, особенно компьютеризированные (вольтамперфазометр высокого класса, прибор для измерения мощности нагрузок ТН и диагностирования погрешностей ТН) с областью применения сугубо энергетической.

Предложения [2] рассчитать систематические погрешности ТН с реальными предварительно измеренными нагрузками его вторичных цепей и учесть их в виде поправочного коэффициента не нашли своего применения по причинам указанным выше. Кроме этого в методах расчета погрешностей ТН имеется методическая погрешность из-за неверного учета влияния изменений первичного напряжения на систематические погрешности ТН.

Наиболее эффективными (не требующими заметных материальных затрат) являются методы, основанные на компенсации погрешностей ТН с помощью дополнительных устройств, устанавливаемых во вторичных цепях ТН [1, 3]. Так для компенсации погрешностей ТН используются батареи конденсаторов (БК), компенсирующие реактивную составляющую токов нагрузки ТН [3]. Но измерительные ТН 6-10 кВ имеют такие соотношения между активным и индуктивным сопротивлениями, при которых подключение БК уменьшает погрешность напряжения, но увеличивает угловую погрешность [4]. Кроме этого установка БК требует проведения комплекса довольно сложных измерений и расчётов. В [3, 4] предложена методика расчета оптимальной мощности БК, с помощью которой удается уменьшить погрешность

учета электроэнергии практически до нуля, но этого можно достичь для фиксированного коэффициента мощности ($\cos\varphi$) потребителей электроэнергии, который не остается неизменным, т.к. нагрузка потребителей постоянно меняется, следовательно, необходимо постоянно менять присоединенную мощность БК. Предложение [4] выбирать БК по среднему за месяц $\cos\varphi$ всех потребителей ведет к появлению методической погрешности и для некоторых потребителей может быть неприемлемым. Указанные причины привели к тому, что в настоящее время применение БК в цепях ТН во многих энергосистемах сокращено.

Отмеченные недостатки рассмотренных методов компенсации погрешностей вынуждают искать новые технические решения задачи компенсации погрешностей ТН, эксплуатируемых в энергосистемах.

Авторами разработано техническое устройство «КПТН» (компенсатор погрешностей ТН), в котором используются вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ), с помощью которых компенсируется, как и амплитудная, так и угловая погрешности ТН. Компенсация погрешностей может быть осуществлена как при ручной регулировке, так и в автоматическом режиме. Разработан и испытан компенсатор ручного регулирования, требующий изменения параметров настройки при изменении сопротивления нагрузки ТН более чем на 10%. Такие изменения нагрузки ТН происходят достаточно редко (с периодичностью в несколько лет), поэтому устройство с ручным регулированием является приемлемым для практики. Но, учитывая современные тенденции в создании необслуживаемых электроустановок, разрабатывается устройство с автоматической коррекцией погрешностей ТН.

Особенностью вторичных цепей ТН, используемых для учёта электроэнергии, отпускаемой потребителям на напряжении 6-10 кВ, является заземление фазы «в» на выводе ТН и во вторичных цепях ячеек распределительного устройства. Это делает бесполезной установку ВДТ в фазу «в», т. к. вторичная обмотка ВДТ, оказывается заземлённой с двух сторон. Однако, т. к. электрочётчики подключаются на линейные напряжения, для регулирования их напряжений достаточно вводить компенсирующие добавки напряжения ΔU в две фазы – «а» и «с». При этом регулируются напряжения U_{AB} и U_{CB} , а добавка к напряжению U_{AC} формируется автоматически, как векторная разность добавок к регулируемым напряжениям.

Вольтодобавочные трансформаторы можно подключить к независимому источнику питания, либо использовать в качестве источника питания ТН, погрешность которого компенсируется. Когда ВДТ подключается к ТН, автоматически обеспечивается пропорциональная зависимость добавок ΔU , компенсирующих погрешности ТН, от измеряемого напряжения. Кроме того, этот вариант

упрощает практическую реализацию подключения ВДТ на действующей подстанции. При использовании стороннего источника для питания ВДТ, необходим дополнительный автоматический регулятор, изменяющий добавку ΔU пропорционально изменению измеряемого напряжения, иначе в режимах значительного отклонения измеряемого напряжения от номинального неправильная работа компенсатора может привести к недопустимому увеличению погрешностей ТН. Поэтому в устройстве «КПТН» ВДТ питаются от ТН, погрешности которого они компенсируют.

Чтобы одновременно компенсировать погрешность напряжения и угловую погрешность ТН, добавку напряжения ΔU ВДТ необходимо регулировать по величине и по фазе. Наиболее совершенные компенсаторы погрешностей, автоматически изменяющие величину и фазу ΔU , можно создать на базе бесконтактных регуляторов фазы (электронных или электромагнитных) и бесконтактных регуляторов напряжения. Однако наиболее простым в технической реализации способом регулирования ВДТ является переключение отпаек его обмоток. При этом для регулирования фазы добавки напряжения обычно используются специальные многообмоточные регулировочные автотрансформаторы, которые питают ВДТ, включенные в рассечку фаз. В устройстве «КПТН» применен более простой и в тоже время достаточно эффективный способ регулирования фазы ΔU , при котором добавка фазы «с» ΔU_C формируется двумя ВДТ, первичные обмотки которых подключены на напряжения U_{CB} и U_{AB} . При этом вектор ΔU_C определяется выражением:

$$\dot{\Delta U}_C = \dot{U}_{CB}/K_{C1} + \dot{U}_{AB}/K_{C2},$$

где K_{C1} и K_{C2} – коэффициенты трансформации ВДТ.

Добавка напряжения фазы «а» ΔU_A формируется двумя ВДТ, первичные обмотки которых включены на линейные напряжения U_{AB} и U_{AC} и имеют коэффициенты трансформации K_{A1} и K_{A2} . Регулируя величины коэффициентов трансформации (K_{C1} , K_{C2} , K_{A1} , K_{A2}) и переключая выводы первичных обмоток ВДТ для изменения фаз подводимых к этим обмоткам напряжений на 180° , можно обеспечить любое направление и модуль векторов ΔU_C , ΔU_A . В устройстве «КПТН» использованы ВДТ, вторичные обмотки которых имеют отпайки для ступенчатого регулирования напряжения с шагом 0,1%.

Компенсатор погрешности «КПТН» предназначен для работы с ТН 6-10 кВ типов НТМИ, НТМК, НАМИ, НАМИ-95, НАМИТ, ЗНИОЛ и др., имеющими класс точности 0,5 и номинальные мощности в этом классе от 75 до 200 ВА. Он позволяет уменьшить систематические погрешности напряжения ТН до 0,05% и угловые погрешности до 1,5 минуты. Эта точность измерения напряжения распространяется на диапазон изменения нагрузки ТН от нуля до $2S_H$, где S_H – номинальная нагрузка ТН в классе точности 0,5, т. е. использование «КПТН» кроме уменьшения погрешностей позволяет в 2 раза увеличить количество счетчиков электроэнергии, подключаемых к ТН.

Опыт использования этого устройства в электрических сетях ОАО «Смоленскэнерго» подтверждает расчётные результаты и позволяет рекомендовать его для широкого внедрения в системах учета электроэнергии. Затраты на его установку окупаются в короткий срок (от одного до двух месяцев, в зависимости от величины учитываемой энергии).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загорский Я.Т. Метрологическое обеспечение измерений для учёта электроэнергии // Новости электротехники. 2003. № 3. С.21-23.
2. Алексеев А.А., Панин А.А. и др. Косвенное определение погрешностей измерительных трансформаторов напряжения в рабочих условиях применения // Электрические станции. 1990. № 6. С.33-36.
3. Малый А.С. Ёмкостная компенсация погрешностей трансформаторов напряжения // Электрические станции. 1991. № 5. С.27-31.
4. Малый А.С. О фазном угле нагрузки трансформаторов напряжения // Электрические станции. 1998. № 4. С.39-41.

□Авторы статьи:

Артемов
Александр Иванович
- канд. техн. наук, доц.
филиала «Московский энергетический институт (ТУ). г. Смоленск

Левченков
Владимир Александрович
- канд. техн. наук, доц.
филиала «Московский энергетический институт (ТУ). г. Смоленск