Для обеспечения безаварийной работы трансформаторных подстанций необходим контроль за режимами работы электрооборудования: нагрузкой отдельных присоединений, напряжением и частотой в контрольных точках электросетей, значением и направлением перетоков активной и реактивной мощности, количеством отпущенной энергии.

Контроль за соблюдением заводских параметров и других технических показателей работы электрооборудования осуществляется главным образом с помощью щитовых контрольно-измерительных приборов, а в отдельных случаях при необходимости применяются переносные измерительные приборы.

Применяемые щитовые электроизмерительные приборы на подстанциях имеют класс точности 2,5—4,0. В контрольных точках энергосистемы применяют щитовые вольтметры класса точности 1,0. Класс точности означает наибольшую приведенную погрешность β прибора в процентах от максимального показания атах, допустимого шкалой прибора, т. е.

где аизм — измеренная величина аист — истинная величина, определенная по образцовому прибору; атах — максимальные показания по шкале прибора.

Для контроля режимов работы электрооборудования подстанций применяют электроизмерительные приборы различных типов: магнито-электрические, электромагнитные, электродинамические, индукционные, цифровые и самопишущие, а также автоматические осциллографы. Для контроля номинального значения измеряемой величины на шкалах приборов наносят красную черту, которая облегчает дежурному персоналу наблюдение за режимом работы электрооборудования и помогает предупреждать недозволенные перегрузки.

Магнитоэлектрические приборы применяют для измерений в цепях постоянного тока. Они имеют равномерную шкалу, позволяют получать измерения с большой точностью, не подвержены влиянию магнитных полей и колебаниям температуры окружающего воздуха. Для измерения в цепях переменного тока эти приборы применяют совместно с выпрямителями.

Электромагнитные приборы используются преимущественно для измерения в цепях переменного тока и широко применяются в качестве щитовых. Точность их ниже, чем у магнитоэлектрических приборов.

Электродинамические приборы имеют две обмотки, расположенные одна в другой, противодействующий момент создается пружиной. Эти приборы удобны для измерения электрических параметров, представляющих собой произведение двух величин (например, мощность). Электродинамическими ваттметрами измеряют мощность в цепях постоянного и переменного тока. Приборы этой системы имеют слабое внутреннее магнитное поле, при работе подвержены влиянию внешних магнитных полей и потребляют значительную мощность.

Индукционные приборы действуют на принципе вращающегося магнитного поля и могут работать только в цепях переменного тока. Применяются они в качестве ваттметров и счетчиков электрической энергии.

Электронные цифровые приборы обладают, как правило, высоким классом точности (0,1 —1,0), большим быстродействием, позволяющим следить за быстрыми изменениями измеряемой величины, возможностью считывания показаний непосредственно в цифрах. Используются такие приборы в качестве частотомеров (Ф-205), а также вольтметров постоянного и переменного тока (Ф-200, Ф-220 и др.).

Самопишущие приборы применяются для непрерывной регистрации тока, напряжения, частоты, мощности и позволяют осуществить документальную регистрацию наиболее важных показателей работы электрооборудования, что облегчает анализ нормальных режимов и возникающих в энергосистеме аварий.

Автоматические светолучевые осциллографы относятся к приборам, предназначенным специально для регистрации и анализа аварийных процессов в энергосистемах.

Контроль за нагрузкой осуществляется с помощью амперметров, включаемых последовательно в измерительную цепь. Приборы на большие токи выполнить трудно, поэтому при измерениях на постоянном токе амперметры подключаются через шунты (рис. 1, а), а на переменном токе — через трасформаторы тока (рис. 1, б, в).

Присоединение и отсоединение приборов к шунтам и вторичным обмоткам трансформаторов тока могут выполняться под напряжением и без отключения нагрузки в первичной цепи с выполнением соответствующих требований правил техники безопасности.

Амперметры переменного тока устанавливаются там, где необходим систематический контроль технологического процесса; во всех цепях выше 1 кВ, если есть трансформаторы тока, используемые для других целей, и в цепях напряжением до 1 кВ измерения общего тока всех подключенных электроприемников (а иногда и для отдельных электроприемников).

Рис. 1. Схемы включения амперметров для измерения постоянного и переменного тока

Амперметры постоянного тока устанавливаются в цепях выпрямителей, в цепях возбуждения синхронных компенсаторов, в цепях аккумуляторных батарей.

Для контроля нагрузки в цепях переменного тока напряжением 0,4—0,6—10 кВ применяются переносные приборы — электроизмерительные клещи (типов Ц90 на 15—600 А, 10 кВ, Ц91 на 10—500 А, 600 В). На рис. 2 показаны общий вид и схема электроизмерительных клещей Ц90.

Электроизмерительные клещи состоят из трансформатора тока с разъемным магнитопроводом 1, снабженным рукоятками 4 и амперметром 3. При измерении магнитопровод клещей должен охватывать токоведущий проводник 2 так, чтобы он не касался его или соседних с ним фаз. Губки разъемного магнитопровода должны быть плотно сжаты.

При измерениях электроизмерительными клещами должны выполняться все требования правил техники безопасности (применение диэлектрических перчаток, расположение измеряющего по отношению к токоведущим частям электроустановки и др.). В схеме электроизмерительных клещей (рис. 2,б) измерительный прибор (амперметр) включается во вторичную обмотку трансформатора тока клещей с помощью моста на резисторах и диодах. Добавочные резисторы R1—R10 позволяют иметь пять пределов измерения (15, 30, 75, 300, 600 А).

Контроль за уровнем напряжения осуществляется с помощью вольтметров на всех секциях сборных шин всех напряжений как постоянного, так и переменного тока, которые могут работать раздельно (допускается установка одного вольтметра с переключателем на несколько точек измерения). Для измерения напряжения вольтметры включаются в измерительную цепь параллельно. При необходимости расширения пределов измерения последовательно с приборами включаются добавочные резисторы.

Схемы включения вольтметров с добавочными резисторами и с помощью переключателей приведены на рис. 3. Добавочные резисторы применяются при измерениях в цепях постоянного и переменного тока до 1 кВ.

Рис. 2. Электроизмерительные клещи: а — общий вид; б — схема

При измерении напряжения в сетях переменного тока выше 1 кВ применяются трансформаторы напряжения. Схемы включения вольтметров через трансформаторы напряжения показаны на рис. 5. Номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора напряжения во всех случаях равно 100 В независимо от номинального напряжения первичной обмотки, а щитовые вольтметры при этом градуируются с учетом коэффициента трансформации трансформатора напряжения в единицах первичного напряжения.

Измерение мощности постоянного и переменного тока производится с помощью ваттметров. На подстанциях в основном измеряется мощность переменного тока (активная и реактивная): на трансформаторах, линиях электропередачи 110—1150 кВ и синхронных компенсаторах. Причем приборы для измерения реактивной мощности — варметры конструктивно ничем не отличаются от ваттметров, измеряющих активную мощность. Различными являются лишь схемы включения. Схема ваттметра (варметра) через трансформаторы тока и напряжения (в электроустановках выше 1 кВ) приведена на рис. 5.

Рис. 3. Схемы включения вольтметров: а — с добавочным резистором; б — с помощью переключателя

Рис. 4. Схемы включения вольтметров с трансформаторами напряжения: а —в однофазных сетях; б—схема открытого треугольника; в — через трехфазный двухобмоточный трансформатор

Рис. 5. Схема включения двухэлементного ваттметра (двух однофазных ваттметров)

При включении ваттметра начало обмотки напряжения (обозначено \*) должно быть подключено к выводу вторичной обмотки трансформатора напряжения той фазы, в которую включен трансформатор тока. А при включении варметра обмотка напряжения прибора включается к обмоткам трансформатора напряжения других фаз (на рис. 5 необходимо поменять местами выводы а и с вторичной обмотки ТН).

Если направление измеряемой мощности на присоединениях (трансформаторе, линии) может менять свое направление в зависимости от режима, то в этом случае ваттметры или варметры должны иметь двухстороннюю шкалу с нулевым делением в середине шкалы.

Для измерения энергии в цепях переменного тока применяются счетчики активной и реактивной энергии. Существует расчетный и технический учет электроэнергии. Расчетный учет (расчетные счетчики) служит для денежных расчетов с потребителями за отпущенную электроэнергию, а технический учет (контрольные счетчики) — для контроля расхода электроэнергии внутри предприятий, электростанций, подстанций (например, на собственные нужды: охлаждение трансформаторов, подогрев выключателей и их приводов и др.).

За электроэнергию, учтенную контрольными счетчиками, денежные расчеты с электроснабжающей организацией не производятся. На подстанциях счетчики активной и реактивной энергии устанавливаются на стороне высшего и среднего напряжений, а при отсутствии трансформаторов тока на стороне высшего напряжения счетчики могут устанавливаться на стороне низшего напряжения.

Расчетные счетчики активной энергии устанавливаются на линиях межсистемных связей для каждой отходящей от подстанции линии (за исключением линий, принадлежащих потребителям и имеющих счетчики на приемном конце). Счетчики реактивной энергии на кабельных и воздушных линиях до 10 кВ, отходящих от подстанций энергосистем, устанавливаются в случаях, когда по счетчикам активной энергии этих линий производится расчет с промышленными потребителями.

В принципе схемы включения счетчиков не отличаются от схем включения ваттметров. Универсальные счетчики включаются через трансформаторы тока и напряжения с номинальными вторичными параметрами 5 А и 100 В соответственно.

На тех линиях и трансформаторах, где поток энергии может меняться по направлению, устанавливаются счетчики со стопорами, которые учет электроэнергии осуществляют только в одном направлении.

Контроль за частотой на шинах электрических подстанций осуществляется с помощью частотомеров. В настоящее время применяются электронно-счетные частотомеры. Приборы такого типа имеют сложную схему, собранную на интегральных элементах (микросхемах), и являются приборами повышенной точности (измеряют частоту с точностью до сотых долей герца). Частотомеры включаются во вторичные цепи трансформаторов напряжения так же, как и вольтметры.