

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Асп. ТРУШНИКОВ А. Л.

Белорусский национальный технический университет

При эксплуатации силовых трансформаторов промышленных предприятий следует соблюдать все требования, регламентированные действующей нормативно-технической документацией [1, 2]. Для этого необходимо выдерживать установленные температурные режимы и уровни напряжения, контролировать максимальные нагрузки в нормальных и послеаварийных режимах, отслеживать график нагрузки, в зависимости от которого определять и соблюдать оптимальное число работающих трансформаторов в целях снижения потерь мощности и электроэнергии и т. д. При этом работа силовых трансформаторов будет надежной и длительной.

Для рациональной эксплуатации силовых трансформаторов необходимо осуществлять систематический контроль:

- средних и максимальных значений тока нагрузки I_{1i} , I_{2i} , активной P_{1i} , P_{2i} , реактивной Q_{1i} , Q_{2i} и полной S_{1i} , S_{2i} мощностей i -го трансформатора на высшем и низшем напряжениях;
- расход активной W и реактивной V энергии за некоторый период потребителями, присоединенными к трансформатору;
- междофазных напряжений U_{1i} и U_{2i} высшей и низшей сторон i -го трансформатора соответственно и их частоту f ;
- угла между векторами тока и напряжения в цепях первичного и вторичного напряжений i -го трансформатора φ_{1i} и φ_{2i} ;
- тока секционного выключателя $I_{QВ}$ (при параллельной работе трансформаторов);
- симметрии нагрузок;
- уровня δ и температуры масла Θ_M или другого жидкого диэлектрика трансформатора;
- соответствия температуры и нагрузки путем расчета $\Theta_M = f(I_2)$;
- температуры окружающей среды Θ_0 ;
- наличия высших гармоник тока I_v ;
- положения коммутационных аппаратов в цепи трансформаторов f_Q , f_{QF} и между секциями подстанции $f_{QВ}$, f_{QF3} ;
- числа коммутаций трансформатора m_T со стороны источника питания в течение определенного периода.

В простейшем случае указанная количественная информация, исключая признающую f_Q , f_{QF} , $f_{QВ}$, f_{QF3} с некоторым усреднением, например за период 15, 30 или 60 мин, может регистрироваться различными средствами (заноситься в энергонезависимую память программно-аппаратного комплекса (ПАУК) для накопления статистики по электрическому оборудованию).

Срок хранения данных может ограничиваться межремонтным периодом. При необходимости данные могут помещаться в информационную базу на весь срок службы единицы оборудования, поскольку современные микроэлектронные технологии позволяют постоянно снижать удельную стоимость хранения информации, и, следовательно, принципиальных проблем в накоплении больших ее объемов не существует. Кроме того, созданы и широко применяются специальные программные средства для эффективного сжатия и архивирования данных.

Хранение накопленных статистических данных в информационной базе системы имеет большой практический смысл, так как на их основе становится возможным достаточно точное определение многих показателей надежности работы электрооборудования, а также прогнозирование нагрузок, упрощается и уточняется планирование ремонтно-профилактических работ.

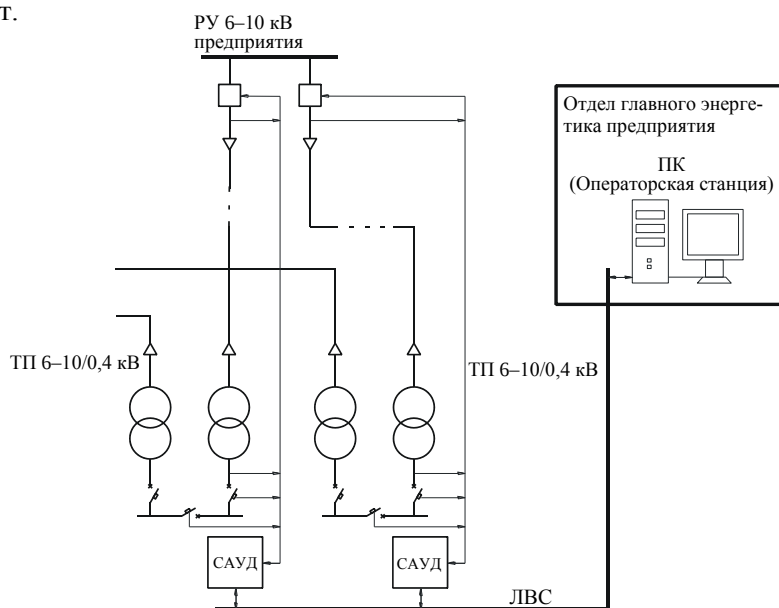


Рис. 1. Общая схема автоматизации СЭС промышленного предприятия:
ПК – персональный компьютер; ЛВС – локальная вычислительная сеть;
САУД – система автоматизированного управления и диагностики

На рис. 1 показана часть схемы системы электроснабжения (СЭС) промышленного предприятия с размещением средств автоматизации управления трансформаторными подстанциями. САУД устанавливаются на всех автоматизируемых подстанциях и с помощью ЛВС объединяются в единую сеть автоматизации. В отделе, ответственном за эксплуатацию электрооборудования СЭС, например главного энергетика предприятия, устанавливается операторская станция в виде ПК, с помощью которой можно осуществлять мониторинг и управление работой СЭС.

На рис. 2 показана обобщенная структурная схема ПАУК для оптимизации эксплуатации двухтрансформаторной подстанции 6–10/0,4 кВ, включающая в себя систему автоматизированного управления и диагностики (САУД) и технические средства сбора и передачи информации. Как правило, трансформаторные подстанции питаются кабельными линиями с

разных секций распределительного устройства (РУ) 6–10 кВ (рис. 3). Секционный выключатель Q_B , объединяющий секции РУ 1 с и 2 с, находится в нормальном режиме в отключенном состоянии. При расположении ПА-УК в помещении трансформаторной подстанции (ТП) необходимо передавать назначенную информацию о положении выключателя (включен или отключен) с места его установки в камере распределительного устройства (РУ) на расстояние, примерно равное длине питающей трансформатор линии. Это можно осуществить прямым способом – либо с помощью локальной вычислительной сети (ЛВС), либо с помощью кабеля связи между РУ и рассматриваемой ТП. Косвенный способ (по наличию и отсутствию напряжения) в данном случае не подходит, поскольку в любом случае необходим канал связи для воздействия на выключатели и данные измерений напряжения могут отсутствовать по другим причинам.

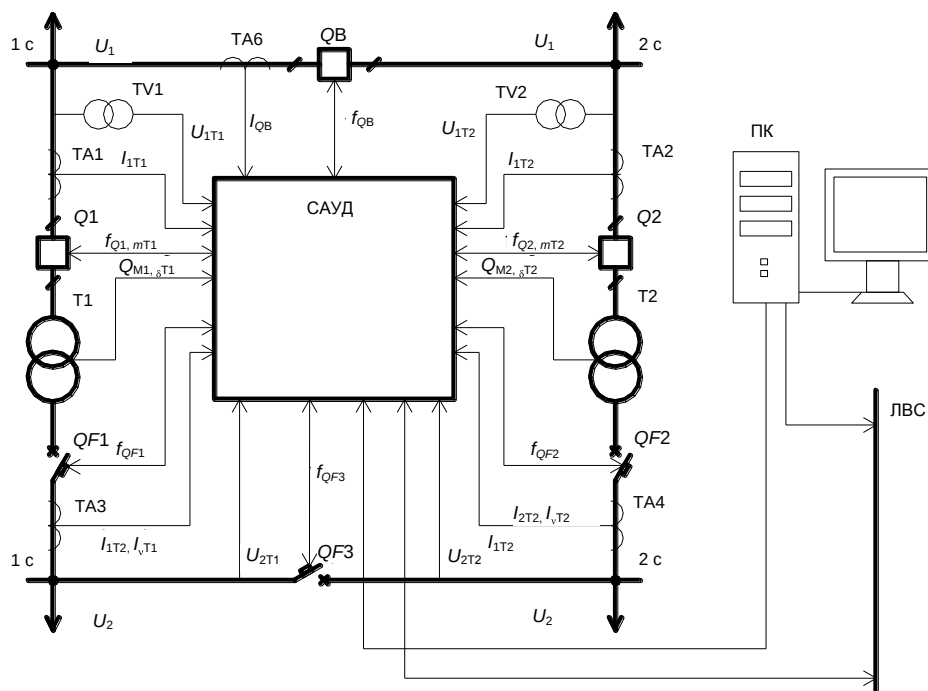


Рис. 2. Структурная схема программно-аппаратного управляющего комплекса

Как видно из рис. 2, система автоматизированного управления и диагностики получает необходимую информацию о работе силовых трансформаторов от измерительных трансформаторов (ИТ) тока ТА и напряжения TV, термодатчиков и вспомогательных контактов выключателей. Также контролю подвергаются питающие трансформаторы кабельные линии, поскольку их интенсивный износ и недопустимые перегрузки снижают нормативный срок службы кабелей и надежность электроснабжения потребителей.

Необходимо отметить, что при питании ТП по схеме, изображенной на рис. 3, высоковольтные ИТ расположены в ячейках РУ. Следовательно, измеренная информация должна передаваться в ТП на расстояние, равное длине питающей кабельной линии, так же, как и для дискретных сигналов состояния коммутационных аппаратов. Для решения этой проблемы суще-

существует два очевидных пути: установка дополнительных ИТ в ТП непосредственно около трансформатора (кроме случаев применения комплектных трансформаторных подстанций) или применение измерительных преобразователей для приведения аналоговых данных измерения в вид, предпочтительный для передачи на расстояние в САУД. Выбор того или иного способа следует производить на основе технико-экономического расчета по заданному критерию оптимальности. При этом определяется целесообразность включений и отключений трансформаторов при изменениях нагрузок и подаются соответствующие сигналы на приводы коммутационных аппаратов. САУД должна обеспечивать два режима функционирования – автоматический, когда переключения выполняются без участия человека, на основании поступающей информации, и автоматизированный, когда САУД на основе полученных данных лишь выдает рекомендацию на осуществление необходимых коммутаций. Информация о нагрузках, напряжениях, температуре трансформаторов и положении коммутационных аппаратов используется для отображения в реальном времени параметров эксплуатации для обслуживающего персонала, прогнозирования нагрузок и технического состояния трансформатора на некоторый период. На основе этих данных принимается решение об отключении одного из трансформаторов и переводе его нагрузки на соседний трансформатор.

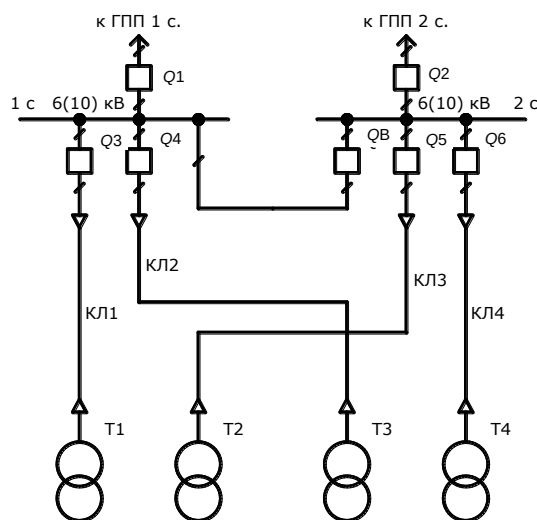


Рис. 3. Типовая радиальная схема электроснабжения: Q1, Q2 – вводные выключатели; Q3–Q6 – линейные выключатели

Обозначенная на рис. 2 одним блоком САУД может содержать в своем составе следующие компоненты: измерительные аналого-цифровые преобразователи (АЦП) с активным входом, сигнальный процессор, управляющий микроконтроллер, буферные каскады, дополнительные входы и выходы, средства коммуникации и источник питания. Также предусмотрен человеко-машинный интерфейс, например на основе жидкокристаллического индикатора (ЖКИ), на который могут выводиться основные параметры эксплуатации, положение коммутационных аппаратов и др.

АЦП предназначен для принятия, масштабирования и фильтрации аналогового сигнала от ИТ, а также для преобразования его в цифровой вид.

Применение активного входа снижает нагрузку ИТ. Это обуславливает более широкий динамический диапазон и повышенную точность измерений. В случае применения измерительных преобразователей совместно с высоковольтными ИТ, установленными в ячейках РУ, блок АЦП на стороне высокого напряжения не требуется, так как его функции выполняет измерительный преобразователь.

Сигнальный процессор производит необходимые вычисления на основе полученных от ИТ и преобразованных АЦП данных. С его помощью вычисляются компоненты симметричных составляющих напряжений и токов, производится расчет гармонических составляющих кривых тока и напряжения, а также определяется общий пофазный коэффициент несинусоидальности тока. Вычисление составляющих обратной последовательности токов обмотки высшего напряжения силового трансформатора позволяет оценить несимметричность его нагрузки. Аналогичную оценку можно произвести путем сравнения фазных токов обмотки низшего напряжения трансформатора. Большая разница полученных значений может свидетельствовать о внутренних повреждениях трансформатора, причиной которых может быть частичный износ изоляции, вызывающий межвитковое замыкание.

Вычисление гармонических составляющих тока дает возможность оценить нелинейность нагрузки. В [3] показано, что несинусоидальность токов вследствие нелинейности нагрузки резко снижает допустимый коэффициент загрузки силового трансформатора, что следует учитывать при определении числа работающих трансформаторов. В настоящее время ведутся разработки так называемых активных корректоров коэффициента мощности (активных фильтров тока и напряжения) [4], которые позволяют компенсировать нелинейность нагрузки. Однако широкого применения они пока не получили. Поэтому фактор искажения кривой потребляемого тока необходимо учитывать при выработке управляющих воздействий.

Управляющий микроконтроллер осуществляет функции выработки управляющих сигналов, коммуникационные функции, обработку внешних дискретных сигналов, работу с человеко-машинным интерфейсом и др.

Присоединение САУД к локальной вычислительной сети (ЛВС) необходимо для записи эксплуатационных параметров в базы данных по использованию энергетического оборудования. Для соединения устройств в ЛВС целесообразно использовать доступные открытые протоколы обмена данными, например Modbus. В таком случае для подключения в сеть используются порты RS-485 у всего оборудования. Возможно также применение коммуникационных портов RS-232 с промышленными преобразователями RS-232/RS-485. Такой достаточно простой способ соединения имеет некоторые недостатки, основными из которых являются относительно низкая скорость обмена данными, небольшая дальность передачи (до 1000 м), присоединение ограниченного числа устройств (до 255) [5]. Для более скоростных соединений возможно использование сетей Ethernet со скоростью передачи данных до 100 Мбит/с, выполненных на основе витой пары для небольших расстояний или оптоволоконных кабелей связи. Существуют устройства микропроцессорных защит, поддерживающие та-

кой способ коммуникаций [6]. Правильному выбору способа создания ЛВС следует уделять особое внимание, поскольку возможно такое исполнение ПАУК, при котором САУД будет получать измерительные данные по ЛВС от своих преобразователей, установленных на некотором расстоянии от ТП в ячейках РУ (рис. 4). При этом аналоговые данные от всех измерительных трансформаторов преобразовываются в цифровую форму с помощью АЦП. Далее микроконтроллер (МК) представляет полученную информацию в необходимом формате для передачи данных по ЛВС. Также посредством сети передается информация о состоянии коммутационных

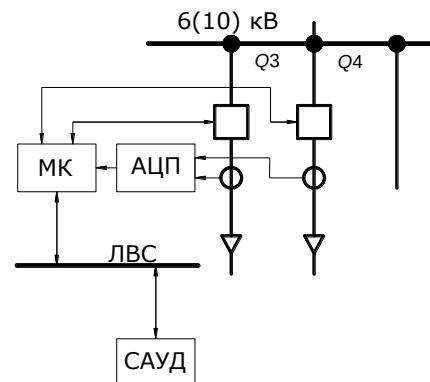


Рис. 4. Получение измерительных данных посредством ЛВС

аппаратов и управляющие воздействия на приводы выключателей для осуществления необходимых переключений. Таким образом, измерительные данные могут вводиться в ЛВС и быть получены без искажений и потерь в любом месте, где проложены линии ЛВС.

Изложенные принципы применимы также на промышленных объектах и при использовании магистральных схем, при которых одна распределительная линия напряжением 6–10 кВ питает несколько территориально разобщенных силовых трансформаторов. Однако в этом случае функции управления отдельными трансформаторами могут быть выполнены лишь действиями эксплуатационного персонала предприятия.

Необходимо отметить, что создание и внедрение подобной системы требует определенных капитальных вложений и должно быть обосновано технико-экономическими расчетами. В то же время следует учитывать, что на ее основе возможна эффективная эксплуатация силовых трансформаторов промышленных объектов.

Существует немало государственных предприятий (СКБ «Элмаш», Завод электронного машиностроения) и коммерческих компаний (ЗАО «Энергосоюз», г. Витебск, ЗАО «Спецприбор», г. Минск), область деятельности которых включает все этапы разработки нестандартных электронных устройств согласно техническому заданию. Поэтому принципиальных препятствий для разработки и внедрения в эксплуатацию описанной управляющей системы нет.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее простой вариант системы управления трансформаторной подстанцией имеет место, когда измерительные трансформаторы расположены рядом с силовыми трансформаторами и их аналоговые сигналы подаются непосредственно на входы системы автоматизированного управления и диагностики. В случае наличия развитой локальной вычислительной сети вопрос удаленности измерительных трансформаторов от трансформа-

торной подстанции теряет свою актуальность. При применении программно-управляющего комплекса на каждой трансформаторной подстанции для накопления статистических данных требуется всего один персональный компьютер (сервер).

2. Рассмотренные принципы построения программно-аппаратного комплекса для управления трансформаторами могут быть реализованы, что будет способствовать повышению эффективности функционирования систем электроснабжения промышленных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т р а н с ф о р м а т о р ы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки: ГОСТ 14209–85. – Введ. 01.07.85. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 30 с.
2. П р а в и л а технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
3. Ш и ш к и н, С. А. Оптимизация нагрузки силовых трансформаторов 10/0,4 кВ при наличии низковольтных источников высших гармоник / С. А. Шишкин // Электрика. – 2006. – № 6. – С. 24–28.
4. Б и р ю к о в, С. Микросхемы для активных корректоров коэффициента мощности NCP1653 и NCP1653A / С. Бирюков // Схемотехника. – 2006. – № 9. – С. 3–5.
5. M a x i m Semiconductors AN763. Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 (TIA/EIA-485-A) Network.
6. B a s l e r Electric. Instruction Manual For Digital Protective Relay BE1-700. Publication: 9376700990. Revision: A 07/04.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 6.06.2007

УДК 681.511.4

РЕАЛИЗАЦИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ЧАСТОТ С ДРОБНЫМ ДЕЛИТЕЛЕМ

Докт. техн. наук, проф. КУЗНЕЦОВ А. П., канд. техн. наук, проф. МАРКОВ А. В.,
асп. АЛЬКАТАУНА Х. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Быстродействие систем синхронизации частот, т. е. время переключения с одной частоты на другую, является одним из наиболее существенных параметров, определяющих функциональные возможности устройства. В синтезаторе частоты на основе контура фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) этот параметр зависит от других параметров – диапазона и шага выходной частоты, уровня побочных дискретных составляющих и т. д. Особенно сильно эта зависимость проявляется в одноконтурном синтезаторе частот. В связи с этим существует необходимость анализа различных вариантов повышения быстродействия синтезатора. В статье рассмотрен