

$$\Phi^* = -0,0291693(F^*)^6 + 0,19309(F^*)^5 - 0,404478(F^*)^4 + \\ + 0,230369(F^*)^3 - 0,177845(F^*)^2 + 1,19443F^*.$$

Приведенное выражение использовалось при моделировании работы тягового электродвигателя при трогании. На основе математической модели синтезирован закон управления крутящим моментом тягового электродвигателя троллейбуса при трогании, обеспечивающий уменьшение максимального динамического момента в трансмиссии на 10–20 % по сравнению с существующим в зависимости от величины ее окружного люфта.

Литература

1. Карманов, К.Н. Диагностирование ведущих мостов троллейбусов ЗИУ–9В // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 12. – С. 18–19.
2. Захарик, Ан.М., Захарик, Ю.М. Многоструктурный закон управления трансмиссией автотранспортных средств // Вестник машиностроения. – 2007. – № 3. – С. 41–44.
3. Ефремов, И.С., Косарев, Г.В. Теория и расчет троллейбусов (электрическое оборудование): в 2 ч. Ч. 2. – М.: Высшая школа, 1981. – 248 с.
4. Бычко, О.В. Белорусский троллейбус – новые технические решения // Металл-инфо. – 2005. – № 11. – С. 28–30.
5. Электрические трансмиссии пневмоколесных транспортных средств / И.С. Ефремов [и др.]. – М.: Энергия, 1976. – 256 с.

УДК 621.311.16

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 6–10/0,4 КВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Трушников А.Л.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РАДКЕВИЧ В.Н.

Одним из способов снижения потерь активной мощности и электроэнергии в силовых трансформаторах напряжением 6–10/0,4 кВ систем электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий является отключение части малозагруженных трансформаторов в периоды снижения электрической нагрузки. Однако помимо величины нагрузки при этом следует учитывать ряд дополнительных параметров.

Организацию постоянного контроля и управления работой трансформаторных подстанций (ТП) промышленных предприятий можно осуществлять двумя путями: расширением функциональных обязанностей персонала энергетических служб, что может потребовать привлечения дополнительных работников, или внедрением автоматизированной системы управления работой трансформаторных подстанций. На наш взгляд, более предпочтительным является второй путь. В таком случае целесообразно использовать систему автоматизации на базе промышленного компьютера, на котором постоянно будет исполняться управляющая программа, реализующая алгоритм управления количеством включенных в работу трансформаторов.

Применение уже установленных микропроцессорных устройств защиты активно способствует внедрению на практике описанного способа снижения потерь активной мощности и энергии, так как эти устройства содержат в себе функции измерения токов и напряжений, а некоторые даже температуры. Устройства имеют мощные коммуникационные способности, вследствие чего можно их использовать как часть программно-аппаратного управляющего комплекса, предназначенного для автоматизации управле-

ния подстанцией и снижения потерь электроэнергии путем отключения малозагруженных силовых трансформаторов.

Алгоритм принятия решения на отключение или включение трансформаторов для систем электроснабжения должен учитывать предысторию работы силового трансформатора, т. е. предшествующие электрические нагрузки, отработанное время, фактический износ.

Для алгоритмизации процесса управления ТП требуются следующие исходные данные:

- междуфазное напряжение U_1 и ток I_1 стороны высшего и низшего напряжений ТП в комплексной форме;
- частоту питающего напряжения;
- информация о положении коммутационных аппаратов;
- температура верхних слоев трансформаторного масла.

На основе перечисленных данных с помощью микропроцессорной техники можно определить следующие параметры:

- активную, реактивную и полную мощности, потребляемые трансформатором по стороне высшего напряжения;
- активную, реактивную и полную мощности нагрузки ТП на стороне низшего напряжения;
- гармонические составляющие или коэффициент несинусоидальности тока нагрузки;
- фактические потери активной мощности и энергии за заданный период времени;
- фактический относительный износ изоляции трансформатора.

При имеющихся исходных данных реальный коэффициент загрузки трансформаторов вычисляется как

$$\beta = \frac{U_2 I_2}{U_{2 \text{ ном}} I_{2 \text{ ном}}},$$

где $U_{2 \text{ ном}}$ и $I_{2 \text{ ном}}$ – номинальные вторичное напряжение и ток трансформатора соответственно.

Текущий относительный износ изоляции определяется по выражению:

$$F_i = F_{i-1} + \Delta F,$$

где F_i – суммарный относительный износ изоляции трансформатора во время i -го периода осреднения;

F_{i-1} – значение суммарного относительного износа изоляции трансформатора во время предыдущего периода осреднения;

ΔF – относительный износ за рассматриваемый период осреднения,

$$F_{ji} = \frac{\Delta t_j}{T} 2^{\frac{\Theta_{\text{ннт } j} - \Theta_{\text{ннт } б}}{\Delta}},$$

Δt_j – период осреднения;

T – расчетный срок службы трансформатора, относительный износ при котором равен 1,0;

$\Theta_{\text{ннт } j}$ – температура наиболее нагретой точки обмотки в данном периоде осреднения;

$\Theta_{\text{ннт } б}$ – базовая условно постоянная температура наиболее нагретой точки обмотки, при которой скорость расчетного износа витковой изоляции соответствует сроку службы трансформатора, условно принятому за единицу;

Δ – температурный интервал, при изменении на который температуры наиболее нагретой точки обмотки расчетный износ витковой изоляции изменяется в два раза, принимается $\Delta = 6$ °С, если нет других значений, определяемых из характеристик витковой изоляции «температура – срок службы».

Существуют выражения для расчета рабочих температур трансформатора [1], однако, если имеется возможность непосредственного измерения температуры, то ее следует использовать. Это позволит повысить точность результатов расчета по программе, реализующей алгоритм управления и получить наиболее реальное значение относительного износа изоляции трансформатора.

Вычисления коэффициента искажения синусоидальности кривой тока основываются на выделении из дискретных отсчетов по кривой тока, полученных от аналого-цифровых преобразователей (АЦП), амплитуд гармонических составляющих с помощью дискретного преобразования Фурье. Коэффициент гармоник рассчитывается по формуле, аналогичной формуле для расчета коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, устанавливаемой ГОСТ 13109-97 [2]:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1} 100 \%,$$

где n – число учитываемых гармоник;

k – номер гармонической составляющей.

В соответствии с [3] допустимый коэффициент загрузки снижается с увеличением гармонических искажений кривой тока нагрузки. Таким образом, при определении числа работающих трансформаторов также следует учитывать и коэффициент гармоник.

Информация о положении коммутационных аппаратов дает возможность оценки частоты коммутаций трансформатора. Следует отметить, что частые коммутации могут оказать неблагоприятное влияние на силовые трансформаторы. Это связано с тем, что при включении трансформатора под напряжение возникает бросок тока намагничивания, который может достигать 5–7-ми кратного значения относительно номинального. Такой ток вызывает повышенные электродинамические воздействия на обмотки. Отключение первичных обмоток трансформаторов на холостом ходу или небольшой индуктивной нагрузке может вызвать опасные для электрооборудования коммутационные перенапряжения, которые приводят к срабатыванию вентильных разрядников. Количество отключений и включений силовых трансформаторов в течение определенного периода эксплуатации производителями электротехнической продукции не ограничивается. Однако число коммутаций в процессе эксплуатации должно быть разумным. По данным [4] некоторые производители считают возможным систематические отключения силовых трансформаторов на выходные дни (около 50 коммутаций в год). Перечисленные факторы не являются основными при управлении работой трансформаторных подстанций, однако, на наш взгляд, их также следует учитывать. Сложность и трудоемкость некоторых расчетов лишь подчеркивает необходимость применения средств автоматизации на базе микропроцессорных устройств.

Для практической реализации показанного алгоритма управления работой трансформаторных подстанций СЭС промышленного предприятия необходимо использовать уже существующее и дополнительно устанавливаемое оборудование. Как было отмечено выше, целесообразно использовать уже установленные устройства микропроцессорной защиты. В таком случае, они помимо основных функций, с заданной периодичностью передают на персональный компьютер, исполняющий основной алгоритм управления трансформаторной подстанцией, информацию о токах и напряжении на стороне 6–10 кВ трансформатора. К дополнительно устанавливаемому оборудованию относятся:

ся: персональный компьютер промышленного исполнения, измерительные преобразователи напряжения и тока на стороне 0,4 кВ трансформатора и сетевые устройства, позволяющие соединить ПАУК всех трансформаторных подстанций в единую сеть.

Выводы

1. При внедрении средств автоматизации, способствующих повышению эффективности использования силовых трансформаторов в сетях 6–10 кВ промышленных предприятий, следует использовать установленное оборудование, например, системы микропроцессорных защит, что позволит сократить капитальные вложения на внедрение систем автоматизированного управления трансформаторными подстанциями.

2. При разработке алгоритмов управления трансформаторными подстанциями промышленных предприятий следует в качестве входной информации использовать максимальное возможное количество измерительной информации для получения наиболее гибкой и качественной оптимизации использования установленных силовых трансформаторов.

Литература

1. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – Введ. 01.07.85. – М.: Издательство стандартов. 1985. – 30 с.
2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Шишкин, С.А. Оптимизация нагрузки силовых трансформаторов 10/0,4 кВ при наличии низковольтных источников высших гармоник // *Электрика*. – 2006. – № 6. – С. 24–28.
4. Ермилов, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1976. – 368 с.

УДК 621.316

ИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ 110/10(6) КВ

Дроздов И.В.

Оборудование части подстанций Белорусской энергосистемы полностью исчерпало свой не только физический, но и моральный ресурс. Это подстанции, которые были введены в работу в 50–60-е годы XX века. Замена оборудования этих подстанций входит в долгосрочные планы развития энергосистемы. В основном планируется на таких подстанциях реконструкция закрытого распределительного устройства (ЗРУ) 10(6) кВ с заменой устаревших ячеек комплектного распределительного устройства (КРУ) на современные с вакуумными выключателями. Так же планируется частичная или полная замена оборудования открытого распределительного устройства (ОРУ) 110(35) кВ, прежде всего связанная с заменой высоковольтных масляных выключателей напряжением 110 кВ на элегазовые и напряжением 35 кВ на вакуумные.

На подстанциях, введённых в работу в 70–80-х годах XX века проводимые реконструкции связаны прежде всего с заменой морально устаревшей схемы «отделитель-короткозамыкатель». Отделитель 110 кВ заменяется на элегазовый выключатель с разъединителем. В ЗРУ 10(6) кВ производится частичная реконструкция, которая заключается в пристыковке к сборным шинам через переходные ячейки новых типов КРУ с вакуумными выключателями или замена только выкатного элемента КРУ с масляным выключателем на вакуумный.

Замена схемы «отделитель-короткозамыкатель» на элегазовый выключатель 110 кВ значительно повышает надёжность электроснабжения потребителей и работы