

УДК 621.316.1

РАСЧЕТ ЗАТРАТ УСТАНОВКИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ
МОЩНОСТИ В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ
CALCULATION OF THE COSTS OF THE REACTIVE POWER COMPILATION
UNIT IN THE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF A CONSUMER
TRANSFORMER SUBSTATION

Счастный В. П., к-т техн. наук, доцент,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
V. Schasny, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belarusian Na-
tional Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы расчета затрат установки устройства компенсации реактивной мощности на трансформаторной потребительской подстанции.

Annotation. The article deals with the issues of calculating the costs of installing a reactive power compensation device at a transformer consumer substation.

Ключевые слова: Адаптивная система, компенсация реактивной мощности, оптимальные параметры, затраты на установку

Key words: Adaptive system, reactive power compensation, optimal parameters, installation costs

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечения нормальных условий работы электроприемников, повышения надежности и экономичности системы электроснабжения предприятия требует определенных затрат. Наиболее рациональным является использование на потребительских трансформаторных подстанциях адаптивной системы управления оборудованием. Система управления позволяет регулировать уровни напряжения, реактивной мощности, высших гармоник тока и напряжения. Осуществлять автоматическое повторное включение, оперативное переключение ввода-вывода трансформаторов на параллельную работу, включение и отключение коммутационных аппаратов отходящих линий низкого напряжения, блокировки от обратной трансформации, обеспечивать взаимосвязь регулирования различных параметров и релейной защиты, управляющую связь с более высоким уровнем энергосистемы. Важную роль в адаптивной системе управления является правильный выбор технических средств для компенсации реактивной мощности, так как она влияет и на другие параметры сети [1, 2]. Наиболее применяемые – управляемая компенсация реактивной мощности (УКРМ). Принцип регулирования коэффициента мощности (КМ) потребителей электроэнергии с использованием УКРМ основан на ступенчатом регулировании емкости батарей конденсаторов. Использование микропроцессорного контроллера позволяет подключать необходимое количество ступеней (конденсаторов)

установки, а также обеспечивать отключение ее в случае аварийных режимов или превышения гармонических составляющих токов и напряжения, так как при величинах КМ превышающих 0,97 и наличии гармонических составляющих может возникнуть резонанс и увеличении тока компенсации. Все это может вызвать перегрев и выход из строя конденсаторов и других элементов установки. Для устранения резонанса в УКРМ последовательно с конденсаторами устанавливаются реакторы, которые образуют фильтр для определенных гармоник (или нескольких гармоник).

Максимальная компенсация реактивной мощности в электрических сетях различных напряжений позволяет:

- уменьшить токи в отдельных ветвях сети и увеличить пропускную способность по величине тока при том же сечении проводов и кабелей, а также загрузки трансформаторов;
- уменьшить потери активной и реактивной мощности от передачи по сетям реактивной мощности;
- уменьшить потери напряжения на участках линий и трансформаторов, что облегчает условия регулирования напряжения, снижая диапазон регулирования;
- уменьшить потери энергии.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Предлагаемая методика определения оптимальных параметров УКРМ основывается на использовании годовых графиков реактивной нагрузки и уровней высших гармоник, преобладающих в электрических сетях предприятия с учетом норм качества электрической энергии [3, 4, 5]. Сущность расчета затрат на установку УКРМ состоит в выборе рационального числа ступеней емкостей и реакторов, чтобы суммарные потери электроэнергии от недокомпенсации и перекомпенсации были минимальны, а уровни высших гармоник были в допустимых пределах безопасной работы установки.

Выражение годовых затрат на УКРМ в электрических сетях 0,38 кВ может включать ряд составляющих: затраты на установку; затраты на средства регулирования и защиты; потери энергии в электрических сетях из-за перетоков реактивной мощности; дополнительных потерь от высших гармоник тока и напряжения; стоимость потерь энергии в конденсаторах и реакторах и другие. Учет всех вышеперечисленных затрат для рассматриваемого случая установки УКРМ в адаптивной системе управления потребительской трансформаторной подстанции усложняет расчет, требует дополнительных данных и не всегда гарантирует объективность и точность расчета. Многолетние практические расчеты показали, что, например, учет стоимости потерь энергии в конденсаторах (да и в реакторах таких маломощных установок), рассчитанные по выражению [4] определения затрат на установку регулируемых установок с несколькими ступенями батарей конденсаторов – нецелесообразен. Их учет дает погрешность менее 1 %, так как удельные потери мощности в конденсаторах составляют 0,0025–0,005 кВт/квар. Тоже относится и к потерям на резонансные филь-

тры, которые включаются при заданной последовательности ступеней о вероятность их работы зависит от многочисленных факторов.

Учитывая ряд допущений, затраты на установку УКРМ в адаптивной системе управления потребительской трансформаторной подстанцией может быть представлена выражением:

$$З = [(AQ_K + A_L X_L) + B] \cdot E_K + \frac{b \cdot R_{\text{ЭК}}}{U^2} \cdot \sum_{i=1}^n \cdot \int_{t_1}^{t_i} [Q(t) - Qk_i]^2 dt, \quad (1)$$

где A – удельная стоимость конденсаторов, руб/квар;

Q_K – номинальная мощность УКМР, квар;

A_L – удельная стоимость фильтра, руб/Ом;

B – стоимость средств регулирования, руб;

$E_K = E_H + P_A$ – коэффициент экономической эффективности (E_H – нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений, P_A – коэффициент отчисления на амортизацию, ремонт и техническое обслуживание оборудования);

b – удельная стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч;

$R_{\text{ЭК}}$ – эквивалентное активное сопротивление по которому протекает реактивный ток, Ом;

U – уровень напряжения электрической сети, кВ;

$Q(t)$ – значение реактивной нагрузки в упорядоченной диаграмме годового графика, квар;

Qk_i – мощность i -й ступени n -ступеней УКМР, квар;

t_1, t_i – время работы каждой ступени УКМР, ч.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование представленного выражения позволяет упростить расчет на установку УКРМ в адаптивной системе управления оборудованием потребительской трансформаторной подстанции с использованием годового графика нагрузки реактивной мощности и замеров уровней высших гармонических составляющих. Годовой график можно сформировать исходя из суточных графиков зимнего и летнего дней в виде двухмерного массива по продолжительности реактивной мощности и времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Счастный В. П. Взаимовлияние режимов регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий / В. П. Счастный, А. И. Жуковский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 3. С 239–249.

2. Счастный В. П. Электромагнитная совместимость компенсирующих устройств и преобразователей регулируемого электропривода в электрических

сетях промышленных предприятий / В. П.Счастный, А. И. Жуковский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2022. Т. 65, № 1. С 239–249.

3. Счастный В. П. Особенности выбора установок компенсации реактивной мощности / В. П. Счастный, А. И. Зеленькевич // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф., в 2 ч. – Минск: БГАТУ, 2019. – Ч. 1. – С. 393–394.

4. Счастный В. П. Проблемы компенсации реактивной мощности в сельских электрических сетях 0,38 кВ /В. П.Счастный, А. И.Жуковский // Агропнорама. 1998. № 2. С. 22–27.

5. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.