

УДК 620.16

А. П. Афанасьев, Д. С. Павличенко**УЧЁТ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПРИ ВЫБОРЕ И УСТАНОВКИ
КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

В представленной работе рассматриваются условия технико-экономической эффективности установки компенсирующих устройств с учётом дальнейшего развития энергосистем на ближайшую перспективу. Отмечается необходимость разделения временного отрезка на отдельные этапы, в ходе которых выявляется расчётная схема развития энергосистемы и планируемые нагрузки. Приводится выражение для целевой функции. Показывается, что основная сложность получения явного вида целевой функции состоит в определении приведённых градиентов по параметрам функционирования системы электроснабжения.

Ключевые слова: компенсирующие устройства, развитие энергосистем, оптимизация, целевая функция.

Электроэнергетическую систему следует рассматривать как постоянно развивающуюся во времени и пространстве. С течением времени растёт электропотребление, подсоединяются новые электропотребители, расширяются старые электростанции и сооружаются новые, вводятся в строй дополнительные линии электропередач и т. п. При проектировании дополнительных компенсирующих и регулирующих устройств необходимо изучать перспективу развития энергосистемы и определенным образом её учитывать.

При формировании оптимального плана функционирования и развития системы важно располагать экономическими условиями установки этих устройств.

Установка дополнительных компенсирующих и регулирующих устройств будет эффективной, если приведённые затраты Z_k , связанные с их сооружением и эксплуатацией, будут меньше получаемого при этом в энергосистеме экономического эффекта, т. е.

$$Z_k \leq \Delta_p + \Delta_q + \Delta_u + \Delta_{\text{п}}, \quad (1)$$

Афанасьев Александр Петрович — кандидат технических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой технических дисциплин (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: mr.preceptor@yandex.ru.

Павличенко Дарья Сергеевна — магистрант (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: energy-pgu@mail.ru.

© Афанасьев А. П., Павличенко Д. С., 2018

где, $\mathcal{E}_p = G_p \cdot Q_k \cdot \tau_{q, \text{ср}} \cdot \beta$ – экономический эффект от снижения потерь активной мощности;

$\mathcal{E}_q = G_q \cdot Q_k \cdot \tau_{q, \text{ср}} \cdot \beta_q$ – экономический эффект от снижения потерь реактивной мощности;

$\mathcal{E}_u = G_u \cdot Q_k \cdot T_{k, \text{макс}} \cdot \beta_k$ – экономический эффект, достигаемый за счёт улучшения режима напряжения;

$\mathcal{E}_\Pi = G_\Pi \cdot Q_k \cdot T_{k, \text{макс}} \cdot \beta_k$ – дополнительный экономический эффект.

В практике проектирования расчётный период, на который просматривается развитие системы, принимается равным 8–10 годам. Осуществить прогноз развития энергосистемы на более далёкую перспективу представляется трудно осуществимым из-за существенного снижения достоверности расчётов.

Расчётный период имеет смысл разделить на этапы. На уровне планируемых этапов выявляются расчётная схема и нагрузки энергосистемы, служащие основной входной информацией при решении рассматриваемой задачи [1]. По этим данным для каждого этапа определяется потребность в компенсирующих устройствах для обеспечения балансов реактивной мощности и требуемых уровней напряжения. Выбор дополнительных компенсирующих и регулирующих устройств осуществляется совместно с составлением плана развития энергосистемы на принятый период.

Учёт динамики развития системы не меняет структуры целевой функции (1) при проектировании компенсирующих устройств, однако требует введения корректив в определение её отдельных составляющих. Затраты на эксплуатацию данных устройств на протяжении расчётного периода остаются постоянными, а остальные составляющие целевой функции (1) при этом изменяются.

Составляющие эффекта от снижения потерь мощности и энергии, а также составляющие ущерба от снижения качества напряжения и эффекта от повышения пропускной способности сети с ростом нагрузок увеличиваются. Появление дополнительных источников питания и межсистемных ЛЭП снижает эти составляющие [1].

Поэтапное проектирование дополнительных средств компенсации активной мощности позволяет рассматривать схему энергосистемы в статике с учётом перспектив её развития на конец этапа [2]. Поэтому целевую функцию необходимо лишь скорректировать с учётом роста нагрузок по годам расчётного периода.

Учёт фактора времени в технико-экономических расчётах принято производить посредством вычисления эффекта, приведённого к расчётному году [5]. Для этого отдельные составляющие целевой функции вычисляются на каждый год расчётного периода и приводятся к сопоставимому виду по формуле сложных процентов. Расчётный год, к которому приводятся все составляющие функции, принимается произвольно. Выбор расчётного года не оказывает влияния на результаты решения задачи.

Приняв в качестве года приведения конечный год расчётного периода, целевую функцию можно записать в виде [3]:

$$-Z_k \sum_{t=0}^T (1+p)^{T-t} + \sum_{t=0}^T \Xi_{pt}(1+p)^{T-t} + \sum_{t=0}^T \Xi_{qt}(1+p)^{T-t} + \sum_{t=0}^T \Xi_{ut}(1+p)^{T-t} + \sum_{t=0}^T \Xi_{nt}(1+p)^{T-t} \geq 0, \quad (2)$$

где p – коэффициент приведения (дисконтирования) разновременных затрат, равный 0,08; T – период.

С учётом принятых допущений, приемлемых при решении данной задачи, уравнение (2) можно записать в виде

$$-Q_k * T_{k, \max} * \beta_k \sum_{t=0}^T (1+p)^{T-t} + Q_k * \tau_{q \text{ ср}} * \beta \sum_{t=0}^T G_{pt}(1+p)^{T-t} + Q_k * \tau_q * \beta_k \sum_{t=0}^T G_{qt}(1+p)^{T-t} + Q_k * T_{k, \max} * \beta_k \sum_{t=0}^T G_{ut}(1+p)^{T-t} + Q_k * T_{k, \max} * \beta_k \sum_{t=0}^T G_{nt}(1+p)^{T-t} \geq 0$$

или

$$-T_{k, \max} \beta_k + G'_p \tau_{q \text{ ср}} \beta + G'_q \tau_q \beta_k + G'_u T_{k, \max} \beta_k + G'_n T_{k, \max} \beta_k \geq 0, \quad (3)$$

где $T_{k, \max}$ – время использования максимальной мощности компенсирующего устройства;

β – стоимость 1 кВт · ч потерь энергии;

β_k – стоимость 1 квар · ч энергии, выданной компенсирующим устройством;

$\tau_{q \text{ ср}}$ – среднее время потерь от передачи реактивной мощности при установке компенсирующего или регулирующего устройства G'_p , G'_q , G'_u , G'_n – соответствующие градиенты, найденные с учётом фактора времени и приведённые к расчётному году T ;

$$G'_p = \frac{\sum_{t=0}^T G_{pt}(1+p)^{T-t}}{\sum_{t=0}^T (1+p)^{T-t}}, \quad (4)$$

$$G'_q = \frac{\sum_{t=0}^T G_{qt}(1+p)^{T-t}}{\sum_{t=0}^T (1+p)^{T-t}}, \quad (5)$$

$$G'_u = \frac{\sum_{t=0}^T G_{ut}(1+p)^{T-t}}{\sum_{t=0}^T (1+p)^{T-t}}, \quad (6)$$

В формулах (4)–(6) градиенты с индексом t соответствуют величинам, вычисленным в t -м году эксплуатации компенсирующих устройств.

При выборе в качестве года приведения другого какого-то года формулы (2)–(6) несколько видоизменяются. Однако эти изменения не оказывают влияния на результаты расчётов, так как в этом случае правая и левая части выражения (2) умножаются на один и тот же коэффициент.

На основе выражения (3) можно сформировать критериальные параметры и с их помощью выбрать дополнительные компенсирующие и регулирующие устройства с учётом динамики развития системы и фактора времени [4].

Таким образом, учёт динамики развития электрической системы при проектировании дополнительных компенсирующих и регулирующих устройств заключается в выборе этапов проектирования, выявлении входной информации по каждому этапу и вычислении приведённых градиентов, определяющих усреднённое, с учётом фактора времени, изменение составляющих технико-экономического эффекта от изменения мощности этих устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров О. И., Падалко Л. П., Никольская Н. Н. Уменьшение потерь в сложнозамкнутой электрической сети путём компенсации реактивных мощностей на грузок // Опыт планирования, анализа потерь энергии и разработки мероприятий по их снижению в энергосистеме. Минск: Высшая школа, 1974. С. 65–71.
2. Глазунов А. А., Хиен Нгуен, Строев В. А. Об экономически целесообразной ёмкостной компенсации в сетях промышленных предприятий. Электричество. 1968. № 3. С. 6–11.
3. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. М.: Энергоиздат, 1981. 200 с.
4. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. М.: Энергоатомиздат, 1990. 200 с.
5. Методика технико-экономических расчётов в энергетике. М.: Экономика, 1996. 16 с.

* * *

Afanasyev Alexander P., Pavlichenko Daria S.
**ACCOUNTING THE EVOLUTION DYNAMICS OF ELECTRICAL SYSTEMS
IN THE SELECTION AND INSTALLATION OF COMPENSATING DEVICES**
(Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

In the present work, the conditions of technical and economic efficiency of the installation of compensating devices are considered, considering the further development of power systems in the near future. It is noted that it is necessary to divide the time segment into separate stages during which the calculated scheme of the development of the power system and the planned loads are revealed. An expression for the objective function is given. It is shown that the main difficulty in obtaining an explicit form of the objective function is to determine the reduced gradients by the parameters of the power supply system.

Keywords: Compensating devices, power system development, optimization, objective function.

REFERENCES

1. Aleksandrov O. I., Padalko L. P., Nikol'skaya N. N. Reduction of losses in a complexly closed electrical network by compensating reactive powers of loads [Umen'shenie poter' v slozhnozamnutoj elektricheskoy seti putem kompensacii reaktivnyh moshchnostej nagruzok], *Opyt planirovaniya, analiza poter' energii i razrabotki meropriyatij po ih snizheniyu v energosisteme* (Experience of planning, analyzing energy losses and developing measures to reduce them in the power system), Minsk, Vyshejschaya shkola Publ., 1974, pp. 65–71.
2. Glazunov A. A., Hien Nguyen, Stroyev V. A. About economically viable capacitive compensation in networks of industrial enterprises [Ob ekonomicheski celesoobraznoj emkostnoj kompensacii v setyah promyshlennyh predpriyatij], *Elektrichestvo*, 1968, no. 3, pp. 6–11.
3. Zhelezko Yu. S. Kompensaciya reaktivnoj moshchnosti v slozhnyh elektricheskikh sistemah (Reactive power compensation in complex electrical systems), Moscow, Energoizdat Publ., 1981. 200 p.
4. Kovalev I. N. *Vybor kompensiruyushchih ustrojstvo pri proektirovanii elektricheskikh setej* (The choice of compensating devices in the design of electrical networks), Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 200 p.
5. *Metodika tekhniko-ekonomicheskikh raschetov v energetike* (Technique of technical and economic calculations in the energy sector), Moscow, Economics Publ., 1996. 16 p.

* * *