

ОПТИМИЗАЦИЯ СУТОЧНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ ДЛЯ ЭНЕРГОЕМКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

О. И. Александров, Т. Е. Жуковская, Баро Бандия

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, кафедра информатики

Белорусский государственный технологический университет

Кафедра электротехники и электроники, кафедра электрические системы

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

E-mail: sanoleg@mail.ru, jte@tut.by

Одним из методов энергосбережения, т.е. снижения максимума нагрузки на промышленном предприятии (ПП) может быть оптимизация режимов напряжения в заводской распределительной сети. В докладе рассмотрены различные методы взаимодействия и регулирования нагрузок промышленного предприятия

ВВЕДЕНИЕ

Наибольший практический интерес представляет взаимосвязь режимов напряжения и нагрузки, которая определяется статическими характеристиками нагрузок (СХН). Для получения реального экономического эффекта необходимо экспериментально определить оптимальное значение напряжения в распределительной сети ПП в различных режимах загрузки основного оборудования. Особенно это востребовано при прохождении максимума нагрузки энергосистемы, так как превышение заявленных величин ведет к большим штрафам, а недобор к возможному ущербу ПП. Решение этой задачи подразумевает комплексный подход к компонентам технологического процесса, включающий рассмотрение характеристик всех звеньев производства, в том числе и таких, как оптимальное регулирование возбуждения синхронных двигателей, настройка систем защиты и режимное взаимодействие ПП с диспетчерским управлением энергосистемы [1].

I. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Выбор необходимой величины изменения напряжения зависит от многих факторов, определяемых СХН и степенью надежности работающего оборудования. В детерминированной постановке эффект снижения электропотребления от изменения напряжения можно выразить следующим соотношением:

$$C = \sum_{t=1}^T [1/\tau k_u \Delta P t \Delta U + \xi k_H Y_t(\Delta U)]$$

где τ – плата за заявленный максимум; k_U – регулирующий эффект активной нагрузки по напряжению, выраженный в относительных единицах; $\Delta P t(\Delta U)$ – фактическое снижение нагрузки, вызванное изменением напряжения на величину ΔU в распределительной сети ПП; k_H – коэффициент, определяющий надежность рабо-

ты электрооборудования, в том числе и устойчивость крупных синхронных машин; $Y_t(\Delta U)$ – величина ущерба, вызванного отклонением уровня надежности от оптимального значения при изменении напряжения ΔU ; ξ – коэффициент приведения стоимости к текущему значению рублевого эквивалента; t – время работы основного оборудования, для которого определяется ущерб; T – полный расчетный период времени. Условие оптимизации режима напряжений получит вид: найти минимум функционала (1) при ограничениях:

$$U_{min} \leq U \leq U_{max}$$

где границы напряжений соответствуют крайним значениям. Сформулированная задача вписывается в математическую модель нелинейного программирования. В результате ее решения находится оптимальный вектор ΔU , который в соответствии с СХН дает максимальный эффект снижения активной мощности ПП [2]. При рассмотрении данной задачи в динамической постановке формируются уравнения состояния для переходных процессов и решаются системы дифференциальных уравнений. В качестве критерия оптимальности обычно принимается минимум суммы квадратов отклонений напряжений с учетом ограничений на мощность управления.

II. СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПО МИНИМУМУ УЩЕРБА

В этом случае решение задачи сводится к оптимальному распределению мощности между предприятиями промышленного комплекса по условиям минимального суммарного ущерба. Оптимально распределяемая мощность определяется регулировочным диапазоном, величина которого составляет:

$$P_{\Sigma J}^r d = P_{\Sigma J}^{st} - \sum_{\alpha=1}^{AJ} P_{\alpha}^{tb}$$

Общий ущерб промышленного энергоузла от вероятного снижения мощности будет равен:

$$Y_{\Sigma J}^t(\Delta P_\alpha) = \sum_{\alpha=1}^{AJ} y_\alpha(\Delta P_\alpha) P_\alpha, \alpha \in AJ$$

где $\Delta P_\alpha = (P_\alpha^H - P_\alpha)$ - величина снижения мощности α -го потребителя относительно номинальной; $y_\alpha(\Delta P_\alpha)$ - удельный ущерб α -го промышленного предприятия при отклонении его режима работы от номинального, руб/(кВт * ч). Функции ущербов:

$$y_\alpha = f(\Delta P_\alpha)$$

считаются известными или, по крайней мере, определяемыми. Математическая модель формулируется как общая оптимизационная задача нелинейного программирования с целевой функцией:

$$\sum_{\alpha=1}^{AJ} y_\alpha(\Delta P_\alpha) P_\alpha \rightarrow \min, \alpha \in AJ$$

и соответствующей системой ограничений-равенств и неравенств:

$$\sum_{\alpha=1}^{AJ} P_{j\alpha} = P_{\Sigma J}^{st}, \alpha \in AJ;$$

$$P_\alpha^{tb} \leq P_\alpha \leq P_\alpha^H, \alpha \in AJ$$

Элементарным ранжированием кривых ущерба можно получить тривиальное решение, в соответствии с которым потребители с меньшим ущербом ограничиваются на большую мощность согласно крутизне кривой (3). В общем случае функции ущерба в зависимости от ограничений (4) являются нелинейными кривыми, которые могут быть представлены аналитически в виде полинома второй степени (квадратичного трехчлена):

$$y_\alpha(\Delta P_\alpha) = x' + x'' \Delta P_\alpha + x''' \Delta P_\alpha^2$$

где x' , x'' , x''' - коэффициенты, характеризующие кривую (3).

Суммарный же ущерб всего энергоузла определяется не только составом потребителей, но и способом ограничения. В общем случае коэффициенты x' , x'' , x''' выбираются для каждого конкретного потребителя в соответствии с режимно-технологическим циклом его работы и интегральным показателем уровня надежности электроснабжения последнего. Переходя к матричным обозначениям, получим формулу (5) в виде:

$$Y_{\Sigma J}^t(\Delta P_\alpha) = X' + X'' * \Delta P_\alpha + \Delta P_\alpha * \text{diag}[X'''] \Delta P_\alpha$$

где $Y_{\Sigma J}^t$ - суммарный ущерб промышленного энергоузла от снижения его мощности на величину ΔP_j руб (т. у. т.); X' , X'' - столбцовые матрицы, компоненты которых составлены из соответствующих коэффициентов x' и x'' ; $\text{diag}[X''']$ -

диагональная матрица, составленная из коэффициентов x''' ; 1 - столбцовая единичная матрица размером $A \times 1$. Система ограничений теперь примет вид:

$$\Xi * \Delta P_\alpha \leq G, \Delta P_\alpha \geq 0,$$

где $\Xi = [\frac{1}{1x}]$ прямоугольная матрица размером $(A+1) \times A$, составленная из коэффициентов ограничивающих уравнений; $G = [\frac{P_\alpha^{tb}}{P_{\Sigma J}^{st}}]$ - столбцовая матрица ограничивающих констант размером $(A+1) \times 1$; - вектор-столбец, составленный из величин технологической брони. Минимизация целевой функции (6) при условиях (7) вписывается в классическую задачу выпуклого квадратичного программирования.

III. СПОСОБ РАЦИОНАЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ СУТОЧНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА

В данной постановке активное воздействие на прогнозируемый график нагрузки энергоузла подразумевает управление электропотреблением не как следствие дефицита мощности в часы максимума ЭЭС, а как способ проведения энергосберегающей политики [3]. Таким образом, критерий оптимизации является многокритериальной аддитивной функцией как минимум пяти типов переменных величин:

$$F = f(h^{max}, h^{otkl}, h^{opt}, h^{rez}, h^f)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика предполагает оптимальное взаимодействие поставщиков и потребителей электрической энергии, причем в определении рациональной структуры графика нагрузки приоритет, несомненно, принадлежит энергосистеме, а не потребителю, как это фактически имеет место в настоящее время. Управление электропотреблением подразумевает построение принудительного графика нагрузки потребителя оптимальной формы и плотности, который соответствовал бы критерию минимального суммарного удельного расхода энергоресурсов.

1. Александров О. И. Снижение электропотребления с помощью регулирования напряжения в заводской сети / О. И. Александров, Н. В. Радоман, Ю. А. Литвак // Актуальные вопросы модернизации химической и нефтехимической промышленности в современных условиях: проблемы и пути решения. - Гродно, «Гродно Азот». - 2012. - С. 134 - 138.
2. Мину М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы / М. Мину. - М.: Наука. - 1990. - С. 487.
3. Дарманчев А. К. Основы оперативного управления энергосистемами. - М. - Л.: Госэнергоиздат. - 1960. - С. 396.