

тойчивости. Рассчитанный график зависимости $K_{кр} = f(K_p)$, где $K_{кр} = K_{г} K_{в} K_{к} K_{рег.кр} K_{ос3}$, приведен на рис. 4. В расчетах было принято: $T_p = 6C$; $T_v = 1C$; $T_k = 2C$; $K_{ос1} = 0$; $K_1 = 0$; $K_{ос3} = 1$. Выполненный расчет показал, что в высокоточной астатической САР напряжений генераторов ТВФ-60-2 (возбудители ВТ-450-3000, электромагнитные корректоры типа ЭПА-306, статизм 0,5%), разделенных секционным реактором РБА-3000-12%, при использовании в индивидуальных астатических регуляторах в качестве интегратора реверсивного двигателя РД-09 с редуктором 1/137 необходимо установить дополнительный редуктор с коэффициентом передачи 1/76. Экспериментальная проверка подтвердила правильность результатов расчетов.

Л и т е р а т у р а

1. Беркович М.А., Семенов В.А. Основы автоматики энергосистем. М., 1968.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М., 1970.
3. Лека М.Н. Об устойчивости комбинированных систем автоматического регулирования электрических машин. — "Электротехника", 1974, № 11.

Л.П. Падалко, А.И. Баранников, А.И. Баранова,
Н.Н. Никольская

О ПРИНЦИПАХ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ КАК ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ

В настоящее время для решения задач оптимального управления сложными системами применяются различные математические модели (математическое программирование, принцип максимума Понтрягина и др.). Однако из-за огромных размеров реальных задач применение указанных методов для прямой оптимизации сложных систем оказывается затруднительным. Поэтому представляется перспективным использование для решения этих задач недавно разработанного математического метода оптимизации многоуровневых иерархических систем, математической теории координации [1]. В этой связи в данной

статье обсуждаются вопросы методологии оптимизации электрических сетей на основе данной теории. Вопросы алгоритмизации представляют собой предмет самостоятельного рассмотрения и здесь не затрагиваются.

Применение теории иерархических многоуровневых систем для анализа и оптимизации больших систем предполагает их декомпозицию. При этом исходная система разлагается на подсистемы, для каждой из которых требуется решение задач меньшей размерности. Такой подход облегчает решение задачи, так как для подсистем каждого уровня существует ряд характерных особенностей и переменных, законов и принципов их функционирования и развития. Это открывает возможности для более глубокого и детального изучения поведения подсистем.

Успех применения декомпозиционного метода во многом зависит от возможности выделения таких обособленных подсистем, для которых локальные задачи оптимизации были бы согласованы с глобальной. Основная трудность выделения обособленных подсистем состоит в наличии взаимосвязи, взаимодействия между подсистемами одного уровня. Для обеспечения согласованности требуется координация подсистем, которая осуществляется вышестоящим уровнем управления. Для координации могут быть использованы принципы прогнозирования, согласования и оценки взаимодействий [1]. Для подсистем одного уровня электрической сети взаимосвязь, взаимодействие между ними осуществляется с помощью основной электрической сети подсистемы вышестоящего уровня.

Рассмотрим условия, при которых координация обеспечивает решение глобальной задачи. Для рассматриваемой задачи параметры взаимодействия совпадают с координирующими указаниями, которые обозначим вектором γ . Решение задачи развития электрической сети для подсистем одного уровня обозначим вектором x . Тогда в общей форме принцип прогнозирования взаимодействий формулируется для случая двухуровневой системы в виде следующего предложения:

$$(\forall \gamma)(\forall x) \left\{ \left[P(x, D(\gamma)) \text{ и } f(x) = \tilde{x} \right] \Rightarrow P(x, D) \right\}, \quad (1)$$

где $D(\gamma)$ -- задача оптимального развития сети при заданном векторе γ ; $P(x, D(\gamma))$ -- предикат, утверждающий, что x есть решение задачи $D(\gamma)$; $P(x, D)$ -- предикат, утверждающий, что x есть решение глобальной задачи.

Данный принцип утверждает, что подлежащая решению глобальная задача D разрешается в виде x , когда x является решением задач, поставленных перед нижестоящими подсистемами, и правильно прогнозируются взаимодействия a^δ , т.е. a^δ есть действительно то самое взаимодействие, которое будет иметь место при x .

Принцип согласования взаимодействий записывается в форме предложения

$$(\forall \gamma)(\forall x) \left\{ [P(x, D(\gamma)) \text{ и } f(x) = \varphi(x)] \Leftrightarrow P(x, D) \right\}. \quad (2)$$

Здесь $\varphi(x)$ выражает желаемое взаимодействие с точки зрения нижестоящих подсистем.

Принцип оценки взаимодействий выражается предложением

$$(\forall \gamma)(\forall x) \left\{ [P(x, D(\gamma)) \text{ и } f(x) \in U^\delta] \Rightarrow P(x, D) \right\}, \quad (3)$$

где U^δ — оценочная область взаимодействий.

Рассмотренные выше принципы координации, записанные в форме соотношений (1)—(3), могут служить основой для разработки объективного алгоритма оптимизации электрической сети.

Для реализации принципов координации применительно к данной задаче необходима декомпозиция электрической сети: 1-ый уровень — сеть 500—750 кВ и выше; 2-ой — сеть 220—500 кВ; 3-ий — сеть 35—110 кВ; 4-ый — сеть 10 кВ. Особенностью данной декомпозиции является то, что информация о нижестоящих уровнях представляется на вышестоящих в сильно агрегированном виде, в форме данных о нагрузках.

При принятом способе декомпозиции требование задачи сводится к минимизации функционала затрат, записываемого в виде

$$f(x) + \sum_{i=1}^n \left\{ \varphi_i(Y_i) + \sum_{j=1}^{m_i} [\varphi_{ij}(Z_{ij}) + \sum_{k=1}^{r_i} \delta_{jik}(L_{ijk})] \right\}, \quad (4)$$

где X , Y_i , Z_{ij} , L_{ijk} — векторы-состояний систем и подсистем для 1, 2, 3 и 4-го уровней соответственно. Состояние системы характеризуется размещением подстанций, их мощностью, схемой сети и параметрами ЛЭП.

Для разработки обоснованного алгоритма оптимизации электрической сети на основе изложенных выше принципов координации и декомпозиции необходим учет специфики рассматриваемого объекта. В этой связи следует отметить прежде всего различие в сроках проектирования электрических сетей различного назначения. Если основные сети ЕЭС и ОЭС проектируются с учетом перспективы в 15--20 лет, то сети нижестоящих уровней -- на более короткие периоды. Причем проекты последних ежегодно уточняются с учетом изменившихся условий эксплуатации. В результате межуровневая координация в динамике оказывается трудно реализуемой. Это обстоятельство обуславливает высокие требования к объективности агрегированной информации о нижестоящих уровнях, представляемой на вышестоящие.

При оптимизации подсистем 3-го уровня весьма важен учет наличия тесной взаимосвязи с подсистемами 4-го уровня. Например, весь эффект от сооружения разгрузочной подстанции 35--110 кВ проявляется в сетях 10 кВ и выражается в снижении потерь энергии в них и увеличении надежности электроснабжения по этим сетям. Для решения этой задачи требуется тщательный анализ и расчет сети 10 кВ, характеризующийся большой разветвленностью и наличием большого числа ТП 10 кВ. Для обособленной оптимизации сетей 35--110 кВ также необходимо агрегирование информации о сетях 10 кВ, позволяющее избежать необходимости детального учета этих сетей и в то же время обеспечивающее необходимую точность расчетов.

Л и т е р а т у р а

1. Месарович И., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М., 1973.

Г.Е. Поспелов, М.А. Короткевич

ПЛАНИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Рассмотрим некоторые методы осуществления прогноза численности персонала предприятия электрических сетей (ПЭС) и проведем их сравнительный анализ.