УДК 621.3.016.3

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Б.Б. Утегулов
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова
Б.К. Шапкенов
Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар
В.П. Марковский
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова
А.Б. Кайдар
Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар

Страны, богатые запасами ископаемого топлива, в особенности Казахстан, смогли превратить свои энергетические ресурсы в значительный объем экспорта, выйдя на рынки за пределы Центральной Азии. В противоположность Казахстану, Кыргызская Республика и Таджикистан, сталкиваются с нехваткой энергоресурсов в зимнее время, а их попытки обеспечить крупные рынки экспорта для летних излишков гидроэнергетических ресурсов не имели большого успеха. Однако, устойчивый экономический рост в других соседних странах, таких как Китай, Иран, Пакистан, Россия, повысили возможность для экспорта значительных объемов электроэнергетических ресурсов за пределы региона.

Результаты прогнозирования потребления в базовом случае кратко приведены в таблице 1 по каждой стране и для Центральной Азии в целом. В краткосрочной перспективе (до 2015 года) ожидается скромный ежегодный рост общего потребления во всех Центрально-азиатских республиках (ЦАР) на 0,31%. Фактически прогнозируется сокращение потребления в Таджикистане, Узбекистане и Кыргызской Республике, в то время как в Казахстане ожидается ежегодный рост на 2,94%. В более долгосрочный период (до 2025г.) все страны за исключением Таджикистана отметят увеличение потребления, приводя к ежегодном у общему росту около 1,90% для региона. Казахстан испытает наивысший уровень роста (3,09%), а в Таджикистане произойдет снижение потребления на 0,17% в год по сравнению с уровнем 2003 года.

Таблица 1

Прогнозы валового электропотребления

Страна	Фактическое	Прогнозпотребления (ГВтч)				Ежегодные уровни роста			
	2003	2010	2015	2020	2025	2003-2010	2003-2015	2003-2020	2003-2025
Казахстан	58,944	72,056	84,034	98,367	115,146	2.91%	3.00%	3.06%	3.09%
Кыргызская Республика	12,145	9,222	10,033	11,296	12,719	-3.86%	-1.58%	-0.43%	0.21%
Таджикистан	16,348	11,267	12,410	13,972	15,731	-5.18%	-2.27%	-0.92%	-0.17%
Узбекистан	48,691	46,597	51,255	56,589	62,479	-0.63%	0.43%	0.89%	1.14%
Всего	136,128	139,142	157,731	180,225	206,075	0.31%	1.24%	1.66%	1.90%

Умелое управление энергетическими ресурсами позволяет без строительства новых электростанций добиться за счет оптимизации структурной схемы электроснабжения, уменьшения потерь, компенсации реактивной помощи существенно снизить минимально-необходимый резерв по мощности.

Поэтому повышение чувствительности управления энергетических объектов системами автоматического управления САУ является актуальной задачей.

Автоматические системы называются инвариантными, если их ошибка равна нулю при любых задающих и возмущающих воздействиях. Рассмотрим следящую систему, на вход которой поступает задающее воздействие x(t), а на вход объекта управления - возмущающее воздействие v(t) (рис.1).

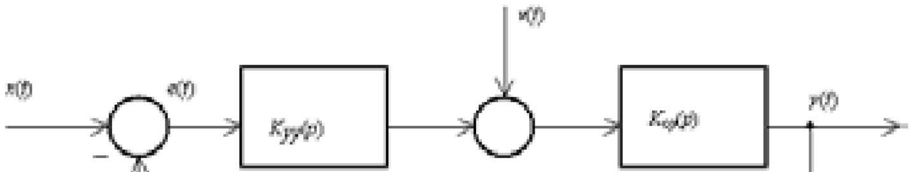

Рисунок 1 . Структурная схема САУ энергетическими ресурсами

Основное назначение следящей системы в том, чтобы выходная величина y(t) с течением времени изменялась в соответствии с изменением задающего воздействия x(t) и мало зависела от изменения возмущающего воздействия v(t).

Уравнение относительно изображения выходной величины y(p) состоит из двух частей. Каждая из этих частей представляет собой произведение соответствующей передаточной функции на свое воздействие. В рассматриваемом случае

$$y(p) = K_{yx}(p)x(p) + K_{yv}(p)v(p), \qquad (1)$$

где

$$K_{yx}(p) = \frac{K_{yy}(p)K_{oy}(p)}{1 + K_{yy}(p)K_{oy}(p)}$$

- передаточная функция замкнутой системы;

$$K_{yv}(p) = \frac{K_{oy}(p)}{1 + K_{yy}(p)K_{oy}(p)}$$

- передаточная функция по возмущающему воздействию.

Поскольку изображение ошибки e(p) равно:

$$e(p)=x(p)-y(p) \tag{2}$$

то, подставляя y(p) из (1) в (2) получим уравнение относительно изображения ошибки:

$$e(p) = x(p) - K_{yx}(p)\, x(p) - K_{yv}(p)\, v(p) = (1-K_{yx}(p))\, x(p) - K_{yv}(p)\, v(p).$$

Передаточная функция ошибки по задающему воздействию равна:

$$K_{ex}(p) = 1 - K_{yx}(p) = \frac{1}{1 + K_{yy}(p)K_{oy}(p)},$$

а передаточная функция ошибки по возмущающему воздействию отличается лишь знаком от $K_{yx}(p)$.

Степень влияния изображений задающего и возмущающего воздействий на изображение выходной величины y(p) или изображение ошибки e(p) определяется соответствующими передаточными функциями. Для уменьшения влияния возмущающего воздействия на выходную величину и ошибку следует уменьшать коэффициент преобразования передаточной функции $K_{yx}(p)$.Для того, чтобы выходная величина лучше воспроизводила задающее воздействие, или, что эквивалентно, для того, чтобы ошибка была близка к нулю, следует $K_{yx}(p)$.приближать к единице.

Поскольку управляемый объект задан, то его передаточную функцию $K_{yx}(p)$ невозможно изменять по своему усмотрению. Мы можем изменять лишь параметры элементов управляющего устройства. При увеличении

$K_{yy}(p)$ передаточная функция $K_{ev}(p)$ будет уменьшаться, стремясь к нулю, а передаточная функция $K_{yx}(p)$ будет возрастать, стремясь к 1. Следовательно, в пределе при бесконечно большом коэффициенте преобразования управляющего устройства:

$$1-K_{yx}(p)=0,\ K_{ev}(p) = 0.$$

Эти условия означают, что передаточные функции ошибки по задающему и возмущающему воздействиям равны нулю при всех значениях p, т.е. тождественно равны нулю. При выполнении этих условий получаем $y(p) = x(p)$ и $e(p) = 0$, что соответствует идеальной системе с нулевой ошибкой. Выходная величина системы перестает зависеть от возмущающего воздействия и начинает точно воспроизводить задающее воздействие.

Таким образом, условием инвариантности системы является тождественное равенство нулю передаточных функций ошибки по задающему и возмущающему воздействиям. Условия инвариантности состоят из условия компенсации - тождественного обращения в нуль передаточной функции ошибки по возмущающему воздействию $K_{ev}(p) = 0$ и условия воспроизведения - тождественного обращения в нуль передаточной функции ошибки по задающему воздействию.

Если в автоматической системе выполняется какое-либо одно из этих условий, то систему можно назвать частично инвариантной.

Инвариантные и частично инвариантные системы представляют собой идеальные системы. Такие системы как правило физически нереализуемы. Однако знакомство с такими идеальными системами весьма важно, так как они определяют тот предел, к которому следует приближаться при желании синтезировать высококачественные системы с учетом реальных возможностей и ограничений.

Чувствительность автоматических систем характеризует влияние изменений параметров элементов на их свойства. Вариации элемента автоматической системы приводит к изменению его передаточной функции, а это в свою очередь вызывает изменение передаточной функции всей замкнутой автоматизированной системы, а значит, в конечном итоге, и изменение величин, характеризующих ее состояние. Для количественного учета всех этих служат функции чувствительности:

$$V_{K_{в}}^{K_{yx}}(p) = \frac{dK_{yx}(p)}{dK_{в}(p)}$$

Часто удобнее рассматривать логарифмическую функцию чувствительности, или просто чувствительность $S^{Kyx}_{Ks(p)}$ передаточной функции замкнутой системы $K_{ух}(p)$ по передаточной функции варьируемого элемента $K_в(p)$, определяемую как

$$S^{K_{yx}}_{K_s(p)} = \frac{d\ln K_{yx}(p)}{d\ln K_s(p)}$$

Чувствительность $S^{Kyx}_{Ks(p)}$ представляет собой отношение относительных изменений передаточной функции замкнутой системы и передаточной функции изменяемого элемента, т.е.

$$S^{K_{yx}}_{K_s(p)} = \frac{dK_{yx}(p)}{K_{yx}(p)} \Big/ \frac{dK_s(p)}{K_s(p)}$$

Очевидно, что чувствительность $S^{K_{yx}}_{K_s(p)}$ связана с функцией чувствительности $V^{Kyx}_{K_s}(p)$ соотношением:

$$S^{K_{yx}}_{K_s}(p) = V^{K_{yx}}_{Ks}(p)\frac{K_s(p)}{K_{yx}(p)} \quad (3)$$

Из выражения видно, что чем меньше чувствительность $S^{Kyx}_{Ks}(p)$ или функция чувствительности $V^{Kyx}_{Ks}(p)$, тем меньше влияние передаточной функции $K_в(p)$ рассматриваемого элемента на свойства автоматической системы. Говоря об уменьшении или увеличении чувствительности, мы всегда будем подразумевать уменьшение или увеличение ее модуля. Естественно, что чем меньше чувствительность автоматической системы, тем система более высококачественна. Поэтому большой интерес представляют такие структуры автоматических систем, которые обладают малой чувствительностью.

Для вывода общей формы чувствительности $S^{Kyx}_{Ks}(p)$, выражающей влияние передаточной функции какого-либо элемента $K_в(p)$ на передаточную функцию автоматической системы $K_{ух}(p)$, рассмотрим систему (рис. 2).

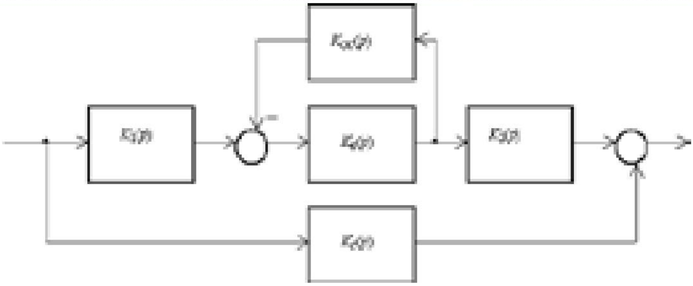

Рисунок 2 - К анализу чувствительности системы

Передаточная функция системы:

$$Kyx(p) = Kc(p) + \frac{K_1(p)K в(p)K_2(p)}{1 + K_в(p)K_{ос}(p)} \tag{4}$$

Найдем вначале функцию чувствительности:

$$Kyx(p) = Kc(p) + \frac{K_1(p)K в(p)K_2(p)}{1 + K_в(p)K_{ос}(p)} \tag{5}$$

Подставляя (5) в формулу для чувствительности (3) получим:

$$S_{Kв}^{Kyx}(p) = \frac{K_1(p)K_2(p)K_в(p)}{\left[1 + K_в(p)K_{ос}(p)\right]^2 K_{yx}(p)}.$$

Но из выражения передаточной функции (4) следует

$$\frac{K_1(p)K_в(p)K_2(p)}{1 + K_в(p)K_{ос}(p)} = K_{yx}(p) - K_c(p).$$

Поэтому окончательно общую формулу чувствительности можно представить в виде:

$$S_{Kв}^{Kyx}(p) = \frac{1 - \dfrac{K_c(p)}{K_{yx}(p)}}{1 + K_в(p)K_{ос}(p)}.$$

Эта формула лежит в основе исследования чувствительности автоматических систем. Методика исследования чувствительности сводится к выделению варьируемого элемента, контура обратной связи и определению передаточной функции всей системы $K_{yx}(p)$, сквозной передаточной функции $K_c(p)$ и передаточной функции варьируемого элемента с учетом отрицательной обратной связи ООС $K_в(p) \times K_{oc}(p)$.

Как правило, в автоматических системах варьируемым элементом является управляемый объект. Рассмотрим рис. 3.

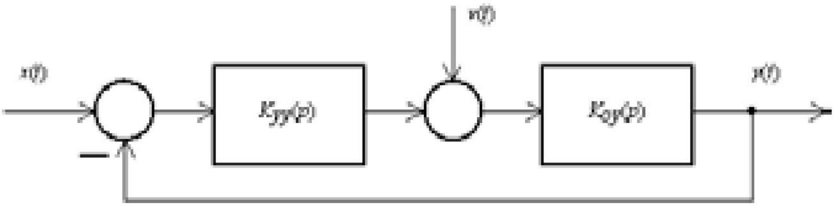

Рисунок 3 - Блок-схема системы управления

Для данной системы $K_c(p) = 0$, следовательно:

$$S^{Kyx}_{Koy}(p) = \frac{1}{1 + K_{oy}(p)K_{yy}(p)}$$

И чувствительность следящей системы по отношению к управляемому объекту определяется коэффициентом преобразования управляющего устройства.

Сопоставляя данное выражение с выражением передаточной функции ошибки по задающему воздействию, заключаем, что для обычной системы:

$$S^{Kyx}_{Koy}(p) = 1 - Kyx(p)$$

Таким образом, чувствительность САУ по отношению к управляемому объекту равна передаточной функции ошибки по задающему воздействию.

Из основной формулы чувствительности можно установить два пути уменьшения чувствительности автоматических систем.

Первый путь состоит в таком изменении передаточной функции системы Kyx(p), при котором она приближалась бы к передаточной функции части системы, не зависящей от варьируемого элемента. По существу этот путь связан с компенсацией изменений варьируемого элемента, т.е. с изменением эффекта, вызываемого вариацией элемента, и созданием соответствующего компенсирующего воздействия. Классическим примером реализации этого пути является известная мостовая схема компенсации.

Второй путь состоит в увеличении коэффициента усиления контура обратной связи. При стремлении усиления к бесконечности чувствительность по отношению к управляемому объекту будет стремиться к нулю.

Системы нулевой чувствительности или, что эквивалентно, системы с нулевой ошибкой представляют собой идеальные системы, и если бы можно было бы их осуществить, то многие проблемы теории автоматических систем были бы решены либо отпали за ненадобностью. К сожалению, однако, на пути осуществления таких идеальных систем возникает множество препятствий и далеко не все они могут быть преодолены. Поэтому эти идеальные системы могут служить лишь ориентиром, к которому следует стремиться настолько, насколько позволяют нам законы природы и различного рода ограничения, которые вызваны ограниченностью энергетических ресурсов, ограниченным диапазоном изменений величин, характеризующих состояние системы и т.д.

Нестационарными линейными системами (системами с переменными параметрами) называются такие системы, все звенья которых описываются только обыкновенными линейными дифференциальными уравнениями, причем все или часть коэффициентов в этих уравнениях меняются со временем.

Поскольку в реальных системах в процессе эксплуатации параметры меняются, то все реальные системы являются в той или иной мере нестационарными. Примерами нестационарных систем могут служить: ракета, масса которой в течение полета изменяется в связи с выгоранием топлива; система управления полетом снаряда, параметры которой могут зависеть от дальности снаряда до цели и изменяться со временем в процессе движения снаряда.

Переменность параметров имеет место в самонастраивающихся системах, где осуществляется автоматическая настройка параметров на оптимальные значения с помощью специальных устройств самонастройки, получающих и перерабатывающих информацию о состоянии системы и внешних воздействиях.

При медленном изменении параметры можно считать “замороженными” и воспользоваться математическим аппаратом, разработанным для систем с постоянными параметрами.

Для оценки степени нестационарности можно применять различные критерии: соотношение среднего периода переменности параметров и времени быстродействия системы; скорость изменения параметров, собственную величину или степень нестационарности.

Так, например, если через T обозначить средний период изменения параметров за полное время наблюдения, а через t_n - время быстродействия автоматической системы, то при условии T >>tn будем иметь строго систему с постоянными параметрами; при T =t_n – квазистационарную систему, а при T < < t_n – нестационарную систему.

Поведение системы с переменными параметрами описывается линейным дифференциальным уравнением с коэффициентами ak и bk, зависящими от времени:

$$a_0(t)y(t) + a_1(t)y(t) + ... + a_n(t)\overset{n}{y}(t) = b_0(t)x(t) + b_1(t)x(t) + ... + b_m(t)\overset{m}{x}(t).$$

Например, в случае фильтра низких частот (колебательного звена):

$$y(t) + 2\xi\omega(t)y(t) + \omega^2(t)y(t) = \omega^2(t)x(t).$$

Оптимальная фильтрация при изменении с течением времени статистических характеристик полезного сигнала и шума может быть достигнута путем непрерывной перестройки собственной частоты фильтра w (t), благодаря чему изменяется его полоса пропускания.

Рассмотрим САУ, объект управления которой имеет переменные параметры (рис.4).

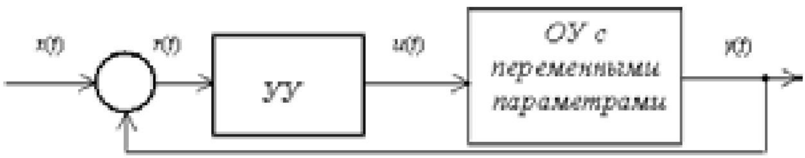

Рисунок 4 - Нестационарная САУ энергетического объекта

Уравнения измерителя рассогласования, ОУ и УУ соответственно имеют вид:

$$r(t) = x(t) - y(t)$$

$$T_2\dot{u}(t) + u(t) = K(T_1\dot{r}(t) + r(t))$$

$$\alpha_2(t)\ddot{y}(t) + \alpha_1(t)\dot{y}(t) + \alpha_0(t)y(t) = \beta_0(t)u(t)$$

Путем алгебраических преобразований получаем уравнение разомкнутой системы:

$$T2\left(\frac{\alpha_2(t)}{\beta_0(t)}\right)p^3y(p)+T_2\left(\frac{\dot\alpha_2(t)}{\beta_0(t)}\right)p^2y(p)+T_2\left(\frac{\alpha_1(t)}{\beta_0(t)}\right)p^2y(p)+T_2\left(\frac{\dot\alpha_1(t)}{\beta_0(t)}\right)py(p)+$$

$$+T_2\left(\frac{\alpha_0(t)}{\beta_0(t)}\right)y(p)+\frac{\alpha_2(t)}{\beta_0(t)}p^2y(p)+\frac{\alpha_1(t)}{\beta_0(t)}py(p)+\frac{\alpha_0(t)}{\beta_0(t)}y(p)=K(T_1p+1)r(p).$$

Из уравнения можно найти передаточные функции элементов системы:

$$K_{yy}(p)=K\frac{T_1+1}{T_2p+1}.$$

$$K_{oy}(p)=\frac{\beta_0(t)}{\alpha_2(t)p^2+\alpha_1(t)p+\alpha_0(t)}.$$

Несмотря на то, что элементы САУ включаем последовательно, их передаточные функции нельзя перемножать для получения передаточной функции системы, как это имеет место для систем с постоянными параметрами. В нестационарных системах нельзя оценивать качество переходного режима по переходной характеристике, т.к. ее вид будет зависеть от момента подачи на вход системы единичной функции. Так, например, для момента t_1 переходная характеристика может иметь монотонный характер, а для t_2 – колебательный (рис 5).

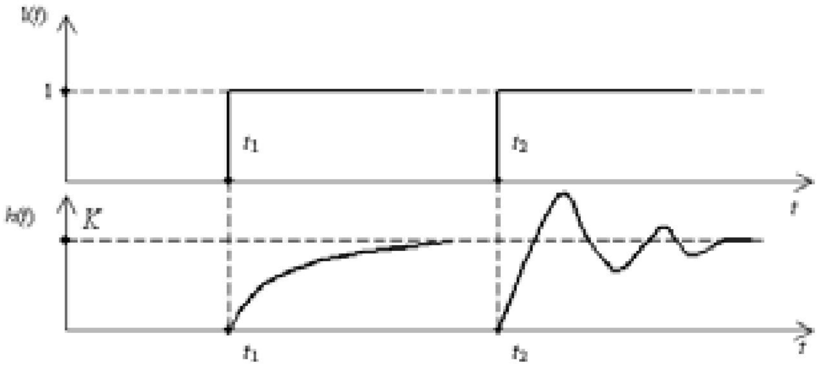

Рисунок 5 - Переходные характеристики нестационарной системы

Частотные характеристики нестационарных систем также зависят от времени. Например, если постоянная времени апериодического звена T в процессе работы системы увеличивается, то система становится более узкополосной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Утегулов Б.Б., Мишина Е.В., Ткаченко В.В., Ткаченко Л.В. Характеристика систем внутреннего электроснабжения промышленных предприятий // Вестник ПГУ. 2001. № 3. – С. 72-76.

2. Калиев Б.З. Прогнозирование графика электрических нагрузок// Материалы международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы». — Павлодар. 2009. — С. 18-20.

2. Шапкенов Б.К., Марковский В.П., Кайдар А.Б. Инновационные методы электрообогрева в промышленности. Материалы международной научно-практической конференции «YII чтения Машхур-Жусипа», Павлодар, 2010, 2 т., с. 214-219.

Түйіндеме

Берілген мақалада басқару жүйелерінің инварианттылығы, автоматты басқару жүйелерінің сезімталдығы, стационарлы емес баскару жүйелері мен олардың математикалық үлгілерінің және стационарлы емес жүйелердің өтпелі сипаттамаларды сұрақтары қарастылған.

Resume

The given artikle deals with the questions of invariance of management systems, sensitivity of automatic control systems, time-varing control systems and their mathematical models and transient response of time-varing systems.