В заключение отметим, что основной погрешностью, которая должна учитываться при оценке точности вычисления кода управляющего воздействия, является **трансформированная погрешность**. Для её уменьшения следует:

1) увеличивать число разрядов ЦАП;
2) вводить сглаживание или усреднение отсчетов;
3) и даже изменять параметры в регуляторе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко Т.А.* Исследование особенностей цифровой реализации алгоритмов контроля, фильтрации и управления. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1994. – 26 с.
2. *Пьявченко Т.А.* Алгоритмы первичной обработки информации // Известия ТРТУ. Тематический выпуск “Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении”. – 2005, № 1 (45). – С.
3. *Пьявченко Т.А., Финаев В.И.* Автоматизированные информационно-управляющие системы: Учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. – 268 с.

Пьявченко Тамила Алексеевна

Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: pta@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371689.

Pyavchenko Tamila Alekseevna

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: pta@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634371689.

УДК 681.5:681.3(075.8)

Д.С. Дрокин

ПОСТРОЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДНЫХ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Изложены теоретические основы построения наблюдателей производных переменных электрических сетей. Проведено построение наблюдателей и их моделирование.

Электрические сети; наблюдатель; система.

D.S. Drokin

CONSTRUCTION OF OBSERVERS OF DERIVATIVES FOR ELECTRIC NETWORKS

Theoretical bases of construction of observers of derivatives variables for electric networks are stated. Construction of observers for system is spent and they modeling.

Electric networks; the observer; system.

Сеть электроснабжения может иметь сложную структуру, обусловленную территориальным расположением потребителей, источников, требованиями надёжности и другими соображениями. В сети выделяют линии электропередачи, которые соединяют подстанции. Линии могут быть одинарными и двойными (двухцепными), иметь ответвления (отпайки). К подстанциям, как правило, подходит несколько линий от потребителей. Внутри подстанции происходит преобразование напряжения и распределение потоков электроэнергии между потребителями. Для соединения линий и оборудования внутри подстанций используются электрические коммутаторы различных типов.

Для наглядного представления структуры сети обычно используется специальное начертание схемы сети (рис. 1), однолинейная схема, представляющая три фазных провода в виде одной линии. На схеме отображаются линии, секции и системы шин, коммутаторы, трансформаторы, устройства защиты [1].

Структура сети электроснабжения может динамически изменяться путём переключения коммутаторов. Это необходимо для отключения аварийных участков сети, для временного отключения участков при ремонте. Структура сети также может быть изменена для оптимизации электрического режима сети.

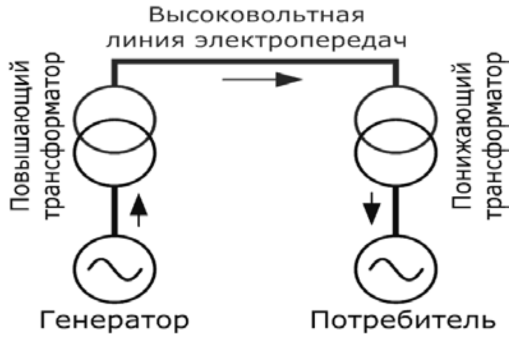

Рис. 1. Структура сети электроснабжения

Сеть электроснабжения характерна тем, что связывает территориально удалённые пункты источников и потребителей. Это осуществляется при помощи линии электропередачи – специальных инженерных сооружений, состоящих из проводников электрического тока (провод — неизолированный проводник, или кабель – изолированный проводник), сооружений для размещения и прокладки (опоры, эстакады, каналы), средств изоляции (подвесные и опорные изоляторы) и защиты (грозозащитные тросы, разрядники, заземление).

Как и все сложные системы, электрические цепи нуждаются в идентификации, построении модели управления. При построении систем управления электрическими сетями очень часто оказывается целесообразным использовать в законе управления производные по времени ошибки системы или выходной переменной. Такая необходимость возникает, в частности, при построении оптимальных, адаптивных или самоорганизующихся систем управления.

В то же время собственно дифференцирующее звено, имеющее передаточную функцию $W(p) = kp$, является физически нереализуемым. Поэтому, как и в случае неизменяемых переменных, вместо производных обычно используются их оценки, асимптотические или оптимальные. Эти оценки формируются соответствующими наблюдателями производных.

При построении наблюдателей производных различают два случая. [2] Первый, когда модель системы, формирующей выходной сигнал, известна, и второй, когда эта модель неизвестна. Предположим вначале, что уравнения объекта, выходной сигнал которого измеряется, известны и имеют вид

$$\dot{x} = Ax + bu \ , \quad y_н = c^T x + \zeta \ . \tag{1}$$

Здесь ζ – случайная помеха типа белого шума, т.е. коррелированный случайный процесс с очень малым временем корреляции.

Так как матрица A и векторы b и c предполагаются известными, то производные по времени $\dot{y}(t), \ddot{y}(t), \ldots$ выходной переменной $y(t) = c^T x(t)$ (т.е. при отсутствии случайной помехи ζ) можно найти по формулам

$$\dot{y} = c^T \dot{x} = c^T Ax + c^T bu \,,$$

$$\ddot{y} = c^T A\dot{x} + c^T b\dot{u} = c^T A^2 x + c^T Abu + b\dot{u} \,, \ldots \tag{2}$$

Аналогично записываются формулы для более высоких производных.

Если управление $u = u(t)$ является изменяющейся функцией времени, то, как видно, для определения старших производных выходной переменной $y(t) = c^T x(t)$ необходимо измерять или определять другим путем производные по времени управления: $\dot{u}(t), \ddot{u}(t), \ldots$.

Часто в системах энергетических сетей используется цифровое управление, которое на каждом интервале $[kT \quad (k+1)T]$ $k = 1,2, \ldots$ является постоянным, т.е. $u(t) = u_k = const$. В этом случае $\dot{u}(t) \equiv 0$ при всех $t \neq kT$. В этом случае формулы (2) принимают вид

$$\dot{y}[k \mid \tau] = c^T Ax[k \mid \tau] + c^T bu_k \,,$$

$$\ddot{y}[k \mid \tau] = c^T A^2 x[k \mid \tau] + c^T Abu_k \,,$$

$$y^{(i)}[k \mid \tau] = c^T A^i x[k \mid \tau] + c^T A^{i-1} bu_k \,,\ i = 1,2, \ldots ,\ \tau \neq 0 \,,\ \tau \neq T \,. \tag{3}$$

Если переменные состояния $x(t)$ не измеряются, то вместо них в этих формулах можно использовать их оценки. Тогда оценки старших производных $y^{(i)}(t)$ по времени выходной величины при $kT < \tau < (k+1)T$ будут определяться равенствами

$$\hat{y}^{(i)}[k \mid \tau] = c^T A^i \hat{x}[k \mid \tau] + c^T A^{i-1} bu_k \,,\ i = 1,2, \ldots ,\ \tau \neq 0 \,,\ \tau \neq T \,. \tag{4}$$

Аналогичным образом можно вывести формулы для определения старших производных по времени от переменных состояния, а также формулы для оценок производных по времени от переменных состояния.

Таким образом, для построения наблюдателя [3], оценивающего выходную переменную $y(t) = c^T x(t)$ объекта и её i-ю производную, при *известной модели* объекта, *неизмеряемых переменных состояния* объекта управления и *постоянном управлении u* необходимо:

1. Найти уравнения наблюдателя переменных состояния и заменить в них переменную y на $y_и$.

2. Вычислить вектор выхода $c_i^T = c^T A^i$ и параметры $\mu_i = c^T A^{i-1} b$, в уравнении (4) при соответствующем значении i (при этом $\mu_0 = 0$).

3. Объединить полученные уравнения с (4)

$$\dot{\hat{x}} = (A - lc^T)\hat{x} + b_0 u + l y_н\,, \qquad (5)$$

$$\hat{y}^{(i)}[k \mid \tau] = c_i^T \hat{x}[k \mid \tau] + \mu_i u\,. \qquad (6)$$

Аналогичным образом можно получить уравнения наблюдателя, оценивающего её i-ю производную по времени выходной переменной $y(t) = c^T x(t)$ объекта (1), при *наблюдаемых переменных* состояния объекта управления и *постоянном управлении*.

Перейдем к рассмотрению способов оценивания производных по времени в тех случаях, когда отсутствует информация о модели объекта управления.

В этом случае для формирования оценок производных $y^{(i)}(t)$ наблюдаемой переменной $y(t) = c^T x(t)$ некоторой динамической системы можно использовать рекуррентный наблюдатель производных (РНП), схема которого показана на рис. 2.

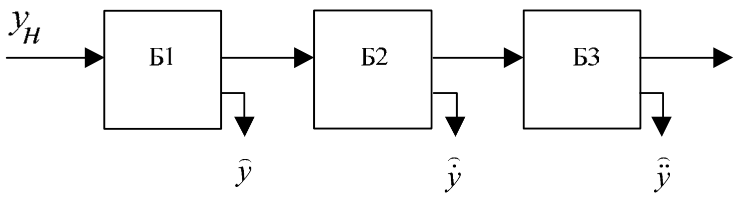

Рис. 2. Рекуррентный наблюдатель производных

Данный наблюдатель N производных по времени состоит из $N+1$ однотипных звеньев Б1, Б2, . . ., каждое из которых описывается уравнениями

$$\dot{z}_i = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} z_i + \begin{bmatrix} k_{1i}(t) \\ k_{2i}(t) \end{bmatrix} \left(z_{2(i-1)} - z_{1i} \right), \qquad (7)$$

где $z_i = [z_{i1} \quad z_{i2}]^T$ – вектор состояния i-го звена; $z_{2(i-1)}$ – выходной сигнал i-го звена; z_{20} – входная переменная первого звена, т.е. наблюдаемая переменная $y_н(t)$.

Коэффициенты $k_{1i}(t)$, $k_{2i}(t)$ являются периодическими функциями времени $t = kT + \tau$ и описываются выражениями

$$k_{1i}(t) = \begin{cases} 0 & 0 \le \tau \le (i-1)\tau_1 \\ k_{11} & (i-1)\tau_1 \le \tau \le i\tau_1 \\ k_{12} & i\tau_1 \le \tau \le T \end{cases}, \qquad k_{2i}(t) = \begin{cases} 0 & 0 \le \tau \le i\tau_1 \\ k_2 & i\tau_1 \le \tau \le T \end{cases}. \qquad (8)$$

Здесь i – номер звена РНП, $i = \overline{1, N+1}$; τ_1 =0,1 – константа. Коэффициенты k_{11}=5000, k_{12}=180, k_2=8100.

Проанализировав решение уравнений (7), (8), можно установить, что к концу каждого периода T на выходе z_1 первого звена формируется оценка $\hat{y}[kT]$ значения переменной $y(kT)$. На выходе z_{21} второго звена формируется оценка $\dot{\hat{y}}[kT]$ значения первой производной $\dot{y}(kT)$, а на выходе z_{31} третьего звена формируется оценка $\ddot{\hat{y}}[kT]$ значения второй производной $\ddot{y}(kT)$ и т.д.

В этом легко убедиться и путем численного моделирования уравнений объекта (1) и уравнений РНП (7), (8) на ЭВМ.

Приведем пример построения наблюдателей производных для конкретной системы:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= 0,2x_2 + 0,1x_3 + u, \\ \dot{x}_2 &= 0,1x_2 + x_3 + 2u, \\ \dot{x}_3 &= -x_3 + u, \\ y &= 2x_1 - x_2 + x_3. \end{aligned}$$

Система моделируется при начальных условиях $x_0 = [1, -2, 1]$. В результате моделировании в MATLAB получены графики, приведенные на рис. 3.

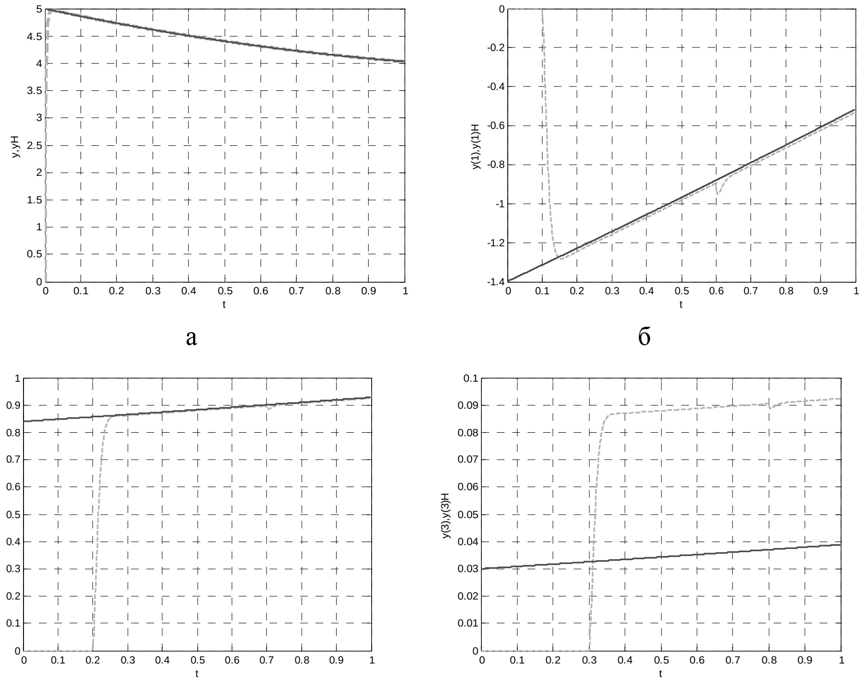

Рис. 3. Наблюдаемая величина и ее производные и оценки наблюдателя производных по времени

На рис. 3 приведены графики изменения наблюдаемой величины (а) и ее производных (б) – д)) непрерывными линиями, а прерывистыми линиями показаны оценки этих переменных, формируемых рассмотренным наблюдателем. Как видно из рисунков, наблюдатель формирует удовлетворительные оценки выходной переменной системы, а также первой и второй её производных по времени. Третья производная оценивается со значительной погрешностью. При этом оценка более высокой производной формируется позднее оценки предыдущей производной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. www.wikipedia.com
2. *Сардис Дж*. Самоорганизующиеся системы управления / Пер с англ. – М.: Мир. 1977.
3. *Гайдук А.Р*. Алгоритмическое обеспечение самоорганизующихся регуляторов с экстраполяцией // Изв. АН. Т и СУ 2002 г. – № 3. – С. 56-63.

Дрокин Денис Сергеевич

Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: objiako@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371689.

Drokin Denis Sergeevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: objiako@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634371689.