УДК 62 – 51: 62 - 526: 629.423.3

Г. М. СИМАКОВ д.т.н. профессор НГТУ
Ю. П. ФИЛЮШОВ к.т.н. инженер ФГУП ПО «Север»
г. Новосибирск

АНАЛИЗ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Сделан анализ эффективности управления нелинейным многоканальным объектом. Критерием качества является время. Рассмотрены закономерности изменения регулируемых переменных. *Ключевые слова*: многоканальный объект управления, быстродействие, принцип максимума.

Введение

Существует большой класс многоканальных объектов, у которых выходная величина, посредством умножения или деления, нелинейно связана с регулируемыми переменными. К таким объектам относится и машина переменного тока [1]. В настоящее время, для организации линейной зависимости выходной величины от задания, нелинейность звена умножения электрической машины исключается путем стабилизации одной регулируемой переменной, приводя такой объект управления к виду одноканальной структуры.

Если для одноканальной системы выбор метода синтеза управляющих воздействий является относительно простой задачей, то для многоканального объекта, формирование управления всегда является проблемой [2]. Сложность выбора объясняется тем, что регулируемые переменные связаны как между собой, так и посредством умножения или деления нелинейно связаны с выходными величинами. Поэтому формирование управляющих воздействий вызывает трудности даже в статических режимах. В динамических процессах многообразие траекторий регулируемых переменных ставит задачу выбора наилучшей из них, требуя применения вариационных методов решения [3].

Анализ решения задачи быстродействия

Изменение за минимальное время состояния многоканального объекта, у которого выходная величина зависит от произведения регулируемых переменных, должно осуществляться не за счет приведения многоканального объекта к одноканальной структуре, а за счет пропорционального изменения всех регулируемых переменных с одинаковым темпом. Выполнение этих условий дает возможность, при

начальных условиях равных нулю, установить связь в функции степени модуля вектора регулируемых переменных и основной выходной величины. При линейной зависимости выходных величин от задания, чем выше показатель степени, тем выше быстродействие системы. Решение задачи быстродействия рассмотрено в работе [4].

Математическое описание представлено уравнениями, описывающими состояние каждого из n – каналов управления N канального объекта:

; . (1)

$$\frac{\mathbf{dX}^n}{\mathbf{dt}} = \mathbf{A}_{nn}\mathbf{X}^n + \mathbf{G}_{\mathbf{nn}}\mathbf{U}^n \quad n = 1,\ 2..N$$

Для анализа решения, рассматривается трехканальный объект в ортогональной системе координат. Выбор такого объекта определен тем, что он достаточно хорошо описывает большой класс многоканальных и многосвязных систем, широко применяемых в промышленности. К таким объектам можно отнести и электрическую машину переменного тока. Структурная схема объекта представлена на рисунке 1. Приняты следующие обозначения:

$$\mathbf{A} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix};\quad \mathbf{X} = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{vmatrix};\quad \mathbf{G} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};\quad \mathbf{U} = \begin{vmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{vmatrix},$$

A – квадратная матрица, характеризующая свойства объекта, u_1,u_2,u_3 – проекции вектора **U** управления. В качестве выходных величин рассматривается вектор **Y**, компоненты которого характеризуют положение вектора регулируемых переменных в рассматриваемой системе координат и зависят от модуля x вектора регулируемых переменных:

; (2)

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}(x)^{-1},\quad x = \left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}\right)^{1/2}.$$

Модуль вектора x регулируемых переменных может быть связан кубической функцией с основной выходной величиной m и проекциями вектора выходных величин **Y**:

. (3)

$$m = \prod \mathbf{X} = x^3 y_1 y_2 y_3$$

В силу связи (2):

$$1 = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2,\quad y_3 = \sqrt{1 - y_1^2 - y_2^2},$$

вектор выходных величин определен следующим образом:

$$\left|y_1 \quad y_2 \quad y_3\right|^T = \left|x_1 \quad x_2 \quad x_3\right|^T (x)^{-1}.$$

В работе анализируется решение формирования вектора управляющих воздействий **U**, принадлежащего замкнутой области пространства допустимых управлений, обеспечивающего перевод системы (1) из начального состояния, в состояние, определенное заданным значением основной выходной (3) величины *m* за минимальное время при одновременном регулировании вектора **Y** выходных величин (2). Вектор выходных величин отражает задание $\mathbf{Y}_{\text{ref}}$, определяющее свойства объекта в области допустимого управления:

$$\mathbf{Y_{ref}} = \left|y_{1ref} \quad y_{2ref} \quad y_{3ref}\right|^T,$$

$$y_{3ref} = \sqrt{1 - y_{1ref}^2 - y_{2ref}^2}.$$

$\mathbf{Y}_{\text{ref}}$ - задание вектора выходных величин. Под допустимым управлением понимается все множество управлений, позволяющих сформировать предписанное значение выходных величин.

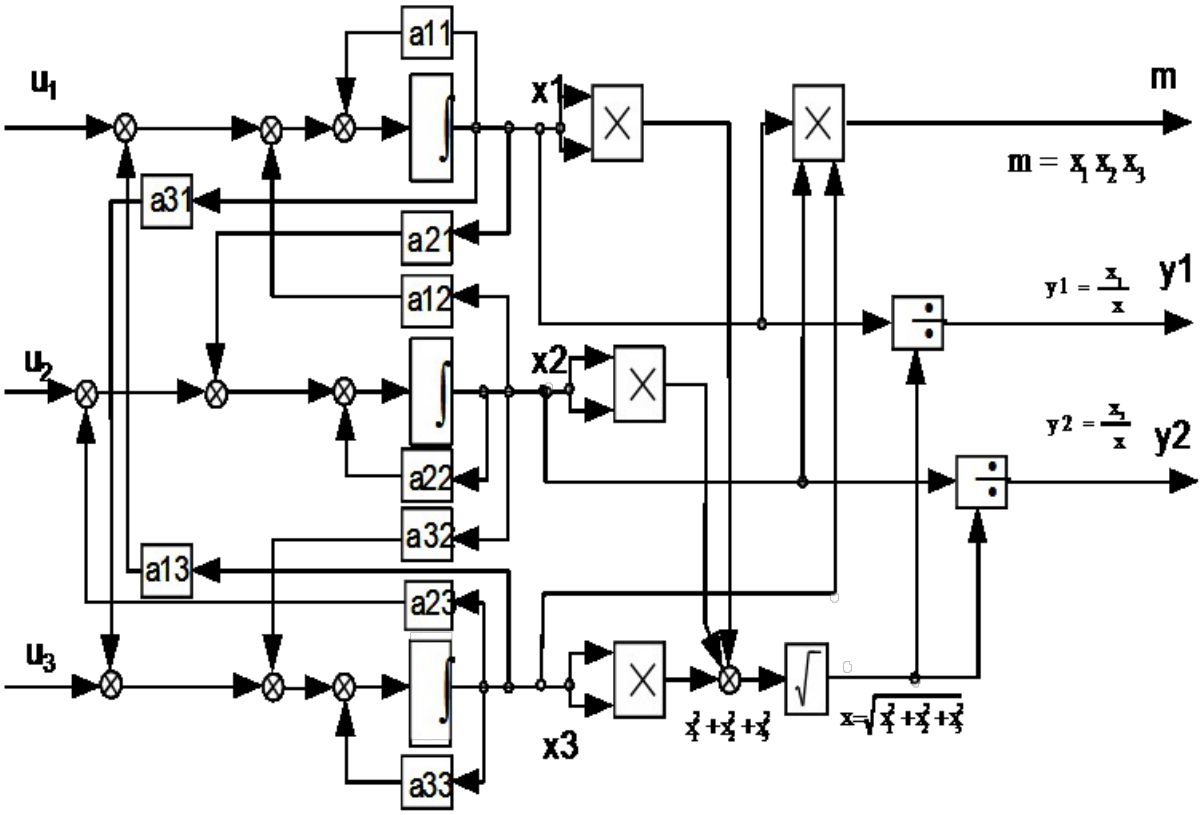


Рисунок 1. Структурная схема многоканального объекта управления

Вектор управления сформирован следующим образом:

$$\mathbf{U} = -\mathbf{K}\mathbf{X} + \mathbf{Y}_{ref}\frac{u_{ref}}{\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}}\left(T_z\prod\mathbf{Y}_{ref}\right)^{-1}, \quad (4)$$

где **К** – матрица регулятора, соответствующая размерности матрицы **A,** T_z – параметр времени, характеризующий полосу пропускания замкнутых контуров. Звено деления определяет линейную зависимость выходной величины от задания. Следует определить элементы матрицы **К**, при котором управление (4) можно назвать оптимальным. Используя принцип максимума, на основании условий стационарности, определены элементы матрицы **К** регулятора:

$$\mathbf{K} = (\mathbf{E}T_z^{-1} + \mathbf{A}). \quad (5)$$

Выполнение условий (5) позволяет основную систему (1), при организации управления (4), выразить посредством новых регулируемых переменных $\mathbf{X^3}$:

$$\frac{d}{dt}\mathbf{X}^3 = 3(\mathbf{A}-\mathbf{K})\mathbf{X}^3 + 3\mathrm{diag}(\mathbf{Y})^2\mathbf{Y}_{ref}\left(T_z\prod\mathbf{Y}_{ref}\right)^{-1}u_{ref}, \qquad \mathbf{X^3}(t) = \mathrm{diag}(\mathbf{X}(t))^2\mathbf{X}(t). \quad (6)$$

Уравнение (6) разрешено следующим образом:

$$\mathbf{X}^3(t) = e^{-3t/Tz}\mathbf{X^3}(0) + \int_0^t 3e^{3(\mathbf{A}-\mathbf{K})(t-\tau)}\mathrm{diag}(\mathbf{Y})^2\mathbf{Y}_{ref}\left(T_z\prod\mathbf{Y}_{ref}\right)^{-1}u_{ref}d\tau.$$

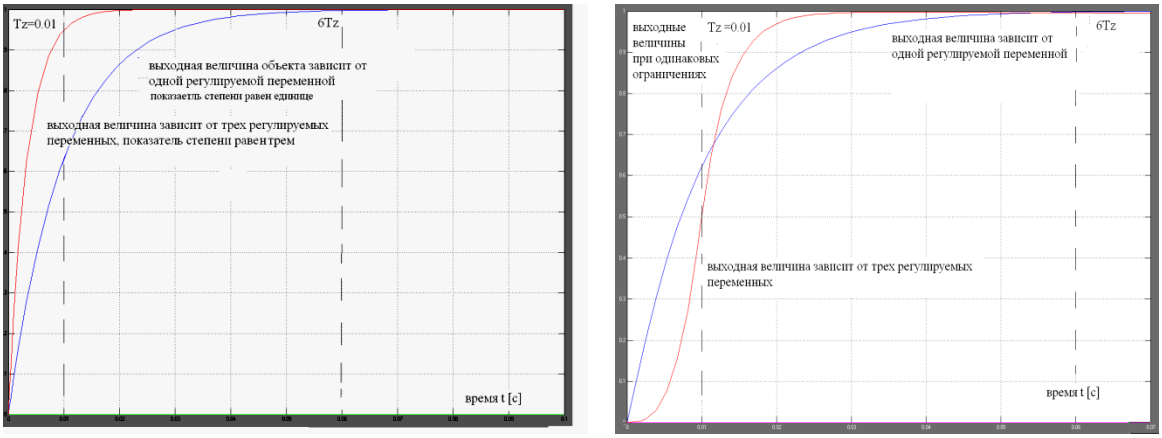
При начальных условиях равных нулю и одинаковом быстродействии замкнутых контуров, положение векторов в статических и динамических режимах изменяться не будет, поэтому вектор выходных величин, во всем временном диапазоне, отвечает заданному значению:

$$\mathbf{Y}_{ref} = \mathbf{Y}(t). \quad (7)$$

Решение для основной выходной величины представлено следующим образом:

$$m(t) = u_{ref}\left[1 - e^{-3t/Tz}\right]. \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, при организованном управлении (4), основная выходная величина (3) системы (1), изменяется по апериодическому закону в три раза быстрее системы, приведенной к виду одноканальной структуры. На рисунке 2 приведены результаты моделирования системы (1), при управлении (4) и системы, приведенной к одноканальной структуре.



а) выходные величины б) выходные величины при одинаковом ограничении

Рисунок 2. Процессы формирования выходных величин многоканальной системы управления и системы, приведенной к одноканальной структуре.

Рисунок 2а иллюстрирует процесс изменения основной выходной величины системы (1), при управлении (4) и системы, приведенной к одноканальному виду. Рисунок 2б иллюстрирует процесс изменения основной выходной величины этих же систем, но в условиях одинакового ограничения. Результаты моделирования подтверждают, в системе (1), при управлении (4), формирование выходной величины, при апериодическом характере переходных процессов, происходит в три раза быстрее, чем в системе, приведенной к одноканальной структуре.

Вывод

В работе показано, оптимальное по быстродействию управление многоканальным объектом, у которого основная выходная величина зависит от произведения регулируемых переменных, обеспечивается за счет регулирования задаваемых переменных с одинаковым темпом, что достигается путем синтеза управляющего воздействия. Это ключевое

положение справедливо для многоканальных объектов, у которых можно осуществить развязку внутренних обратных связей. При соблюдении условий стационарности (одинаковый темп изменения регулируемых переменных) связь основной выходной величины и модуля вектора регулируемых переменных может быть представлена экспоненциальной функцией. Для линейной зависимости основной выходной величины от задания, быстродействие сформированной системы управления зависит от показателя степени. Чем выше показатель степени, тем выше быстродействие системы. В электрической машине переменного тока, связь модуля вектора регулируемых переменных и электромагнитного момента может быть представлена степенной функцией, показатель которой равен единице (магнитная система намагничена) или двойки.

Список литературы.

1. Филюшов Ю. П. Оптимизация работы обобщенной электрической машины / Электричество. 2011. № 2. *С. 46 - 51*.
2. Филюшов Ю. П. Филюшов В. Ю. Управления синхронной машиной при минимизации тепловых потерь в условиях минимума реактивной мощности. / Электротехника 2013. №12. *С.57-63*.
3. Красовский А. А. Справочник по теории автоматического управления. / Под ред. Красовского А. А. – М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. Лит., 1987. – 712 с.
4. Симаков Г. М. Филюшов Ю.П. Метод синтеза управления многоканальным объектом /*Электричество 2015. № 7 С. 56 - 61*.