

4. Драган, А. В. Новые аппаратно-программные средства для исследования и диагностики механических систем / А. В. Драган [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2006. – № 4. – С. 17–26.

5. Грановский, Г. И. Резание металлов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский – М. : Высшая школа, 1985.

УДК 681.5

Супрунчук П. Д.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Прокопеня О. Н.

ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Системы оптимального управления находят все большее применение в технике. Данные системы обеспечивают высокое качество регулирования, но достаточно трудоемки в проектировании. Поиск оптимального управления представляет собой сложную математическую задачу, решение которой основано на описании системы переменными состояниями [1]. На практике, как правило, используется частный случай ее решения, который именуется аналитическим конструированием регулятора. Под аналитическим конструированием регуляторов понимают решение задачи оптимального управления для линейного объекта и квадратичного критерия [2]. Решение данной задачи актуально для приводов постоянного тока.

Эффективность решения данной задачи зависит от выбора коэффициентов матриц, входящих в критерий качества регулирования. Однозначных рекомендаций по их выбору нет, корректность выбора зависит от опыта проектировщика. В данной работе выполнен количественный анализ влияния матрицы R на затраты энергии на регулирование применительно к конкретному приводу постоянного тока.

Пусть уравнения объекта

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \quad x(t_0) = x_0 \quad (1)$$

где $A(t)$ и $B(t)$ – матрицы объекта.

Критерий качества регулирования

$$I = \int_{t_0}^{t_k} (u^T R(t)u + x^T Q(t)x) dt + x^T(t_k) F_k x(t_k), \quad (2)$$

где $Q(t)$ – симметричная, неотрицательно-определенная весовая матрица;

$R(t)$ – симметричная, положительно-определенная весовая матрица.

Минимальное значение критерия, соответствующее оптимальному управлению, ищется в виде квадратичной формы

$$I^*[x(t), t] = x^T P(t)x, \quad (3)$$

где $P(t)$ – весовая матрица.

Решением задачи нахождения минимума критерия является оптимальное управление

$$U^*(t) = -R^{-1}(t)B^T(t)P(t)x(t). \quad (4)$$

При этом матрица $P(t)$ находится из решения матричного нелинейного дифференциального уравнения Риккати [2]

$$-\dot{P}(t) = PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q. \quad (5)$$

Даже в случае, если объект является стационарным, а матрицы R и Q имеют постоянные коэффициенты, матрица P зависит от времени.

Матрица P может состоять из постоянных коэффициентов только при оптимизации на бесконечном интервале времени. В этом случае коэффициенты матрицы представляют собой установившееся решение уравнения (5), которое является решением алгебраического уравнения

$$PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0. \quad (6)$$

Если обозначить установившееся решение \bar{P} , то при постоянных коэффициентах матриц оптимальное управление

$$U^*(t) = -R^{-1}B^T \bar{P}x(t). \quad (7)$$

Данное выражение можно представить в виде

$$U^*(t) = -Kx(t). \quad (8)$$

где $K = -R^{-1}B^T \bar{P}$.

Из (8) следует, что оптимальная система регулирования будет иметь такую же структуру, как и при синтезе методом размещения полюсов (с обратными связями по всем переменным состояниям). Однако коэффициенты в цепях обратной связи (коэффициенты матрицы K) вычисляются согласно (8).

В критерии качества (2) принимаем

$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, а матрицу R будем изменять в процессе анализа.

В качестве объекта регулирования принят двигатель постоянного тока 2ПБ112МУХЛ4, для которого

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 106 \\ -26,6 & -145 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \end{bmatrix};$$

При подстановке значений матриц в (6) получаем

$$\begin{aligned} PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q &= \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{12} & p_{22} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & 106 \\ -26,6 & -145 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -26,6 \\ 106 & -145 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{12} & p_{22} \end{bmatrix} \\ &- \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{12} & p_{22} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \end{bmatrix} * [R]^{-1} * \begin{bmatrix} 0 & 15 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{12} & p_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} -53.2p_{12} + 1 - 225p_{12}^2/R & -26.6p_{22} + 106p_{11} - 145p_{12} - 225p_{12}p_{22}/R \\ -26.6p_{22} + 106p_{11} - 145p_{12} - 225p_{12}p_{22}/R & 212p_{12} - 290p_{22} - 225p_{22}^2/R \end{bmatrix} = 0. \end{aligned}$$

Приравниваем к нулю элементы полученной матрицы

$$-53.2p_{12} + 1 - 225p_{12}^2/R = 0;$$

$$-26.6p_{22} + 106p_{11} - 145p_{12} - \frac{225p_{12}p_{22}}{R} = 0;$$

$$212p_{12} - 290p_{22} - \frac{225p_{22}^2}{R} = 0.$$

Решением данных уравнений при заданном значении матрицы R находятся значения коэффициентов матрицы P и матрицы K , соответствующие оптимальному управлению (8). Результаты вычислений для различных R приведены в таблице 1.

Для оценки качества переходных процессов и энергопотребления привода разработана математическая модель в приложении SIMULINK, представленная

на рисунке 1. В модели предусмотрены блоки для вычисления потребляемой энергии и потерь в приводе. Они вычислялись за фиксированный интервал времени после пуска. При этом осуществлялась отработка заданного значения скорости, которое также поддерживалось постоянным. Результаты приведены в таблице 1.

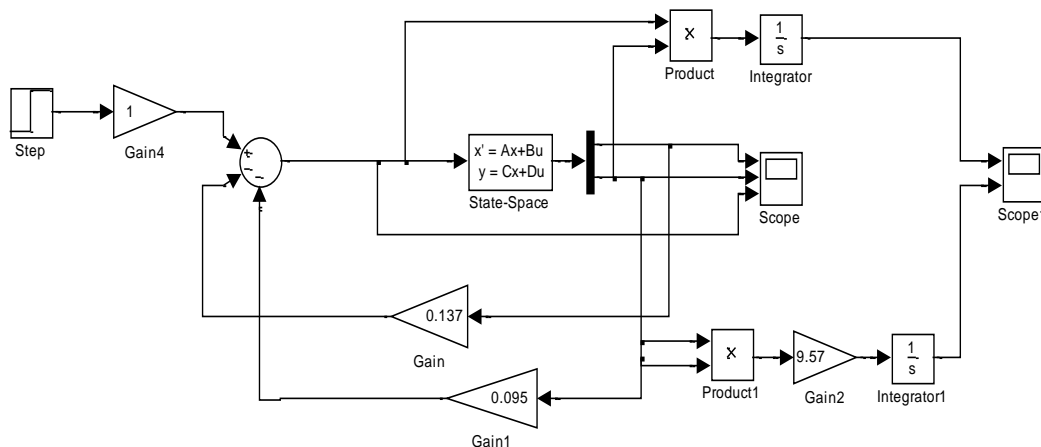


Рисунок 1 – Математическая модель привода в приложении SIMULINK

В таблице 1 приведено также время регулирования при допустимом отклонении 5 %, характеризующее длительность переходного процесса. Во всех случаях обеспечивалось нулевое перерегулирование (монотонный переходной процесс).

Таблица 1 – Результаты вычислений

R	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	2,0
K_1	1,859	0,776	0,498	0,326	0,265	0,137
K_2	1,273	0,555	0,354	0,239	0,189	0,095
$Q_{\text{потр}}, \text{Дж}$	2,360	1,975	1,860	1,804	1,782	1,730
$Q_{\text{ПОТЕРЬ}}, \text{Дж}$	1,505	1,126	1,017	0,957	0,935	0,883
$t_{\text{рег}}, \text{с}$	0,070	0,089	0,106	0,112	0,118	0,127

Результаты моделирования показывают, что с увеличением значения R снижается энергопотребление привода за счет уменьшения потерь. Разность между количеством потребленной энергии и величиной потерь постоянна и равна кинетической энергии ротора при установившейся скорости. При изменении R от 0,1 до 2,0 потери снижаются в 1,7 раза. Переходный процесс растягивается с 0,071 до 0,127 с (в 1,8 раза). В таблице 1 приведены соответствующие значения коэффициентов в цепях обратной связи K_1 и K_2 .

Таким образом, в ходе исследования установлено, что увеличивая значение матрицы R , можно снижать энергопотребление привода, что сопровождается увеличением длительности переходного процесса. Это дает возможность в каждом конкретном случае обеспечивать минимальное энергопотребление при заданном времени регулирования. Для расчета можно использовать полученные на основе решения уравнения Риккати алгебраические уравнения, а также разработанную в приложении SIMULINK математическую модель.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании оптимальных систем регулирования на основе двигателей постоянного тока.

Список цитированных источников

1. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор – М. : Лаборатория базовых знаний, 2001.
2. Солодовников, В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. – М. : Машиностроение, 1985. – 536 с.

УДК 621.793

Хеук М. В., Аббасов К. Т.

Научный руководитель: ст. преподаватель Ялковский Н. С.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Одна из основных проблем, общая для всех отраслей техники, – это повышение износостойкости и долговечности машин, механизмов, аппаратов, приборов. Повышение надежности машины увеличивает ее эксплуатационные и межремонтные сроки, сокращает время простоя в ремонте и снижает его стоимость, повышает безопасность работы.

Согласно ГОСТ 16429-70 изнашивание – процесс постоянного изменения размеров тела при трении, проявляющийся в отделении от поверхности трения материала и (или) его остаточной деформации. Изнашивание, обусловленное воздействием твердых частиц, называется абразивным. Гидроабразивное изнашивание протекает в результате воздействия твердых тел или частиц, увлекаемых потоком жидкости.

Этот вид изнашивания характерен для деталей оборудования в цементной, энергетической, абразивной, металлургической промышленности и других отраслях, связанных с дроблением, измельчением, резкой и транспортировкой сырья и материалов.

Перспективным методом повышения долговечности оборудования, работающего в условиях гидроабразивного воздействия, является формирование на изнашиваемых поверхностях различного рода защитных покрытий, в том числе газотермических покрытий из керамических материалов.

Однако природа их разрушения при изнашивании и основные закономерности этого процесса еще недостаточно изучены, что и предопределяет значительный научный и практический интерес к этим вопросам.

В качестве исследуемого выбрано защитное покрытие из механической смеси оксидов алюминия Al_2O_3 и титана TiO_2 . В зависимости от процентного содержания компонентов в напыляемом материале и условий напыления формируемое покрытие имеет высокую твердость и стойкость к ударным нагрузкам, что должно обеспечивать достаточную абразивную износостойкость. Рассматривались покрытия с 2, 8, 14 и 20 % оксида титана в составе.

Покрытие формировалось из порошков зернистостью 40 мкм на установке плазменного напыления швейцарской фирмы “Плазма-Техник АГ”.

В качестве плазмообразующего газа использовался азот.

Напыление производилось на образцы, выполненные из стали 40, имеющие форму диска с размерами: диаметр – 50 мм, высота – 10 мм.