

УДК 621.313.292

О.А. Киселёва, Д.П. Киселёв, Т.В. Попова

## ФУНКЦИИ РЕГУЛЯТОРА ТОКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСКОНТАКТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Воронежский государственный технический университет*

*В работе проводятся исследования особенностей построения регуляторов тока в электроприводах с бесконтактным двигателем постоянного тока с учетом возможностей повышения энергетических показателей системы.*

**Ключевые слова:** бесконтактный двигатель постоянного тока, регулятор тока, оптимальный угол опережения поля ротора полем статора.

При синтезе систем управления (СУ) с бесконтактными двигателями постоянного тока (БДПТ) [1] необходимо одновременно решать две задачи [1]:

- энергетическую, связанную с исполнительными электромеханическими устройствами, способными выполнять заданные операции;
- информационную, связанную с целесообразностью выполнения и распределения логических операций между этими устройствами.

Эти задачи связаны между собой поиском оптимального решения. Выбор метода управления БДПТ связан с законом формирования вектора детерминированного оптимального управления, который является функцией начальных фазовых координат объекта и времени или функцией текущих фазовых координат.

В реальных системах управления БДПТ действуют различные случайные возмущения, начальные фазовые координаты которых точно не известны. Это особенно проявляется в системах с неполной обратной связью, когда только начинается восстановление координат ротора [2]. Восстановленные координаты поступают на вход регуляторов скорости (РС) и регуляторов тока (РТ).

РТ на выходе формирует систему трехфазных синусоидальных напряжений, обеспечивающую электромагнитный момент с минимальными пульсациями. В связи с тем, что необходимы три фазных напряжения, а в идеальном случае РТ должны быть на каждой фазе, то их тоже должно быть так же три. Исходя из того, что обмотки чаще всего соединены по схеме «звезда», РТ можно использовать в двух фазах, а для третьей фазы сигнал вычислить по двум первым, так как двигатель является симметричной нагрузкой:

$$i_a(t) + i_b(t) + i_c(t) = 0.$$

Хороший эффект дают использование перекрестных обратных связей в РТ. При формировании управляющих сигналов на инвертор необходимо учитывать, что угол опережения поля ротора полем статора влияет не только на выходной параметр, то и на энергетику исполнительного устройства. Кроме этого СУ должна скомпенсировать дополнительные фазовые сдвиги, вносимые запаздыванием. Один из них будет формироваться интегральной составляющей ПИ – регулятора скорости, хотя его использование в СУ, особенно на низких скоростях.

Синтез РТ, обеспечивающий оптимальное управление, является сложной задачей [3]. Определение опережения сигнала по фазе в функции нескольких переменных трудоемкая задача, хотя и дает хороший положительный эффект.

Исследуя экспериментальные характеристики, представленные на рис. 1, зависимости оптимального угла опережения поля ротора полем статора от момента нагрузки на валу, можно сделать вывод о том, что в определенных диапазонах эта зависимость практически линейная. Значит, реально сформировать дополнительный сдвиг по фазе в зависимости от частоты вращения и момента нагрузки. Особенно это необходимо при пульсациях момента нагрузки.

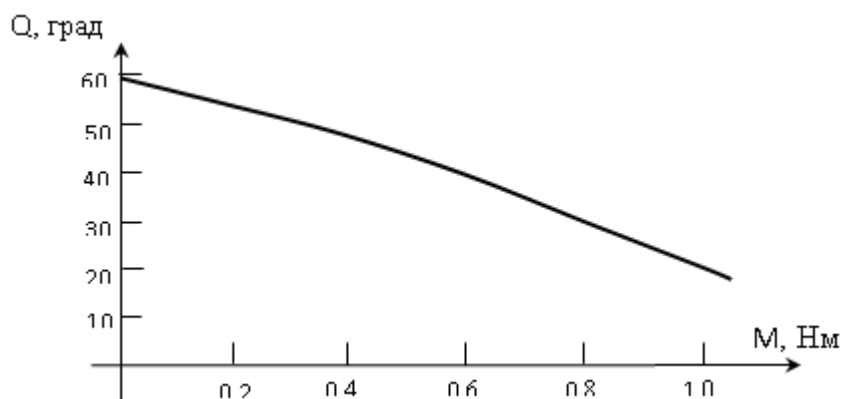


Рис.1. Зависимость оптимального угла опережения от момента нагрузки на валу БДПТ

При выборе метода управления БДПТ необходимо рассмотреть вектор детерминированного оптимального управления, который является функцией начальных фазовых координат объекта и времени или функцией текущих фазовых координат. В реальных системах действуют различные

случайные возмущения, начальные фазовые координаты точно не известны, в лучшем случае известен их диапазон изменения [4, 5].

Поведение автоматизированного электропривода с БДПТ опишем на интервале времени от 0 до T векторным дифференциальным уравнением

$$\dot{X} = X(t, x, U),$$

где X - n - мерный вектор фазовых координат;

U – n - мерный вектор управления, определяемый на замкнутой области U(u ∈ U).

Исходя из этого, в задачах синтеза вектора управления в системах управления БДПТ, необходимо определить как бы «цену» управления или «энергозатраты» на управление, которые являются функционалом от U:

$$J = \int_0^T f(U)dt,$$

где f(U) - некоторая положительная функция вектора U, для которой f(0)=0.

Вектор U является функцией случайного вектора D<sub>K</sub>, величина «энергозатрат» на управление J будет случайной и частным значением.

При питании электропривода с БДПТ от автономного источника недостаточно знать среднее значение «энергозатрат», а необходима оценка максимальной величины J<sub>m</sub>. Для этой оценки надо определить P(J) – плотность вероятности случайной величины J, так как

$$W_K = (D_K) = M\{J_K\}$$

является условным математическим ожиданием величины

$$J_K = \int_{t_K}^T f(U)dt.$$

Максимальная величина «энергозатрат» J<sub>m</sub>, которую надо учитывать при проектировании системы управления БДПТ, описывает «энергозатраты», которые с вероятностью α не могут быть превышены на множестве всех реализаций синтезированного управления.

Величину J<sub>m</sub> можно определить из формулы, где α - число, определяющее вероятность, близкую к единице

$$\int_0^{J_m} P(J)dJ = \alpha.$$

Вектор управления U(t) должен быть функцией от всех зафиксированных до момента времени t векторов обратной связи и векторов управления.

Исходя из проведенных исследований в области синтеза регуляторов тока, можно сделать вывод о том, что возможно создать регулятор тока, обеспечивающий оптимальное управление БДПТ как по энергетическим

показателям, так и точностным, не превышая максимальное значение «энергозатрат» на управление.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и допол. Т.2: Статическая динамика и идентификация систем автоматического управления/ Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Ягупова. – М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.- 640 с.
2. Киселёва О.А. Математическая модель системы управления бесконтактным двигателем постоянного тока при наличии запаздываний по состоянию и управлению/ О.А. Киселёва, Т.В. Попова, В.Е. Букатова // Электротехнические комплексы и системы управления.- 2010.- №1- с. 15-19.
3. Киселёва О.А. Постановка задачи оптимального управления логико-динамической системы с бесконтактным двигателем постоянного тока/ О.А. Киселёва, В.Е. Букатова, Т.В. Попова // Электротехнические комплексы и системы управления.- 2008.- №3(11).- с. 41-42.
4. Киселёва О.А. Синтез детерминированной дискретной логико-динамической системы с бесконтактным двигателем постоянного тока/ Киселёва, В.Е. Букатова, Т.В. Попова // Электротехнические комплексы и системы управления.- 2009.- №4- с. 11-14.
5. Киселёва О.А. Исследование процесса коммутации электромеханической системы с бесконтактным двигателем постоянного тока/ О.А. Киселёва, Т.В. Попова, В.Е. Букатова // Электротехнические комплексы и системы управления.- 2008.- №4- с.38-40.

D.P. Kiselev, O.A. Kiseleva, T.V. Popova

### FUNCTIONS OF CURRENT REGULATOR FOR CONTROL SYSTEM OF CONTACTLESS ENGINE OF DIRECT CURRENT

*Voronezh state technical university*

*In work researches of features of creation of current regulators in electric drives with the contactless engine of direct current taking into account opportunities of increase of power indicators of system are conducted.*

**Keywords:** contactless engine of direct current, current regulator, optimum angle of an advancing rotor field of stator field