

АЛГОРИТМ ВЕКТОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ТОКОВ ФАЗ ТРЕХФАЗНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Дайняк И. В.

Кафедра высшей математики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: dainiak@bsuir.by

Предложен алгоритм векторного регулирования управляющих токов фаз прецизионного трехфазного синхронного двигателя, обеспечивающий отсутствие установившейся ошибки и компенсацию погрешностей регулирования. Алгоритм может быть реализован в контроллере сервопривода для обеспечения качества программируемых движений по точности и быстродействию.

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы управления прецизионным синхронным электроприводом строятся, как правило, по иерархическому принципу [1]. Программное обеспечение нижнего уровня при этом реализует в реальном времени программируемые движения, осуществляя требуемые технологические перемещения в прецизионном оборудовании. Разработанный алгоритм позволяет повысить качество программируемых движений, обеспечивая необходимую точность перемещений и быстродействие.

I. ОБЩАЯ СХЕМА АЛГОРИТМА

Рассмотрим алгоритм векторного регулирования на примере трехфазного синхронного исполнительного привода. В контуре формирования управляющих токов фаз применяется типовой алгоритм векторного регулирования, включающий следующие шаги:

1) измерение токов I_a , I_b в двух фазах A , B трехфазного двигателя и расчет тока I_c третьей фазы C , исходя из равенства суммы трех токов нулю;

2) прямое преобразование Кларка трехфазной системы токов I_a , I_b , I_c в двухфазную систему токов I_α , I_β , связанную со статором;

3) прямое преобразование Парка двухфазной системы токов I_α , I_β , связанной со статором, в двухфазную систему токов I_d , I_q , связанную с продольной и поперечной осями ротора двигателя;

4) независимое регулирование ПИ-регуляторами продольного и поперечного компонентов тока в проекциях ротора, при этом задание поперечного компонента, создающего вращающий момент, формируется ПИ-регулятором скорости, а задание по скорости – П-регулятором положения, задание продольного тока устанавливается в нуль;

5) обратное преобразование Парка сформированного ПИ-регуляторами тока вектора напряжения из двухфазной системы координат ротора в двухфазную систему координат статора;

6) обратное преобразование Кларка в трехфазную систему статора;

7) преобразование трехфазных напряжений в коэффициенты заполнения широтно-импульсных модуляторов ШИМ инвертора.

В качестве алгоритма ШИМ в приводе используется симметричный пилообразный, обеспечивающий два переключения тока за один период ШИМ, и, как следствие, удвоение частоты пульсаций тока и снижение их амплитуды вдвое [2].

Рассмотрим алгоритм регулирования более подробно.

II. ПРЯМОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КЛАРКА

Прямое преобразование Кларка применяется для преобразования сигналов двух датчиков тока трехфазного синхронного двигателя в двухфазную систему координат, связанную со статором [3]. Оно выполняется по формулам

$$I_\alpha = I_A; \quad I_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A + \frac{2}{\sqrt{3}}I_B.$$

Вытекающие из фазы токи и вращение против часовой стрелки при этом считаются положительными, а угол θ поворота ротора отсчитывается от вектора тока фазы A .

III. ПРЯМОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПАРКА

Прямое преобразование Парка преобразует сигналы токов фаз из двухфазной системы координат (α, β) , связанных со статором, в двухфазную систему координат (d, q) , связанную с продольной и поперечной осями ротора синхронного двигателя по формулам

$$I_d = I_\alpha \cdot \cos \theta + I_\beta \cdot \sin \theta; \\ I_q = -I_\alpha \cdot \sin \theta + I_\beta \cdot \cos \theta,$$

где θ – угол поворота ротора двигателя.

IV. ПИ-РЕГУЛИРОВАНИЕ ТОКОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

На этом шаге ПИ-регуляторы продольной и поперечной компонентов тока в системе координат ротора преобразуют управляющие сигналы к

выходу в виде продольной и поперечной компонентов напряжения в системе координат ротора по формулам

$$V_{id} = \int K_{id}(I_{dd} - I_d)dt;$$

$$V_d = V_{id} + K_{pd}(I_{dd} - I_d);$$

$$V_{iq} = \int K_{iq}(I_{dq} - I_q)dt;$$

$$V_q = V_{iq} + K_{pq}(I_{dq} - I_q).$$

где V_{id}, V_{iq} – выходы интеграторов;

V_d, V_q – выходы регуляторов;

I_{dd}, I_{dq} – измеренные значения токов после преобразований Кларка и Парка;

K_{pd}, K_{pq} – пропорциональный (П) коэффициент регуляторов I_d и I_q ;

K_{id}, K_{iq} – интегральный (И) коэффициент регуляторов I_d и I_q .

Обычно принимают $K_{pd} = K_{pq}, K_{id} = K_{iq}$. Раздельная настройка коэффициентов регуляторов $K_{pd}, K_{pq}, K_{id}, K_{iq}$ может потребоваться только для двигателей с явно выраженной несимметрией ротора и неравенством индуктивностей по осям d и q .

V. ОБРАТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПАРКА

Обратное преобразование Парка применяется для преобразования сигналов продольного и поперечного компонентов напряжений V_d, V_q из двухфазной системы координат, связанной с продольной и поперечной осью ротора, в двухфазную систему координат (α, β) , связанную со статором, по формулам

$$V_\alpha = V_d \cdot \cos \theta - V_q \cdot \sin \theta;$$

$$V_\beta = V_d \cdot \sin \theta + V_q \cdot \cos \theta.$$

VI. ОБРАТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КЛАРКА

Обратное преобразование Кларка применяется для преобразования сигналов напряжений из двухфазной системы (α, β) в трехфазную систему координат (a, b, c) , связанную со статором, по формулам

$$V_a = V_\alpha;$$

$$V_b = -\frac{1}{\sqrt{2}}V_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}V_\beta;$$

$$V_c = -\frac{1}{\sqrt{2}}V_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}V_\beta.$$

VII. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СИГНАЛЫ ШИМ

Преобразование сигналов применяется для трансформации трехфазных напряжений в системе координат, связанной со статором, в три однофазных сигнала широтно-импульсных модуляторов (ШИМ) с учетом ограничений на максимальный коэффициент заполнения импульсов.

Данное преобразование может выполняться многими способами, поскольку одновременное

изменение всех трех коэффициентов заполнения ШИМ не влияет на фазные напряжения двигателя. Возможные варианты отличаются одновременным позиционно зависимым сдвигом всех трех коэффициентов заполнения для обеспечения максимально возможного фазного напряжения.

Оптимальным является алгоритм с некоторой модификацией для повышения быстродействия:

$$V_{pa} = \frac{1 + V_a}{2}; \quad V_{pb} = \frac{1 + V_b}{2}; \quad V_{pc} = \frac{1 + V_c}{2}.$$

При превышении максимально допустимых значений осуществляется предварительный сдвиг всех коэффициентов заполнения вверх либо вниз.

VIII. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА

При реализации алгоритма векторного регулирования в контроллере привода следует иметь в виду, что токовое регулирование является задачей реального времени, следовательно, программа токового регулятора должна вызываться по таймеру и являться обработчиком прерываний (Interrupt handler). По этим причинам цикл работы должен составлять не более 125 мкс, а частота ШИМ должна быть не менее 8 кГц.

Наиболее желательным является цикл работы 62,5 мкс, т.е. программа токового регулятора может отработать дважды за один период ШИМ, так как симметричный пилообразный ШИМ обеспечивает два переключения фазы за период. Цикл регулятора более 125 мкс крайне нежелателен и сопровождается значительным ухудшением качества и снижением полосы пропускания токового контура. Вместе с тем для регуляторов скорости и положения вполне допустим цикл 250 мкс, и даже 500 мкс и 1000 мкс.

Разработанный алгоритм векторного регулирования тока обеспечивает высокую точность и полосу пропускания токового регулятора, отсутствие установившейся ошибки, а также компенсацию погрешностей регулирования, вызываемых противо-ЭДС двигателя. Алгоритм может быть использован в микропроцессорных сервоконтроллерах синхронного электропривода при реализации токового контура управления.

IX. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования / В. В. Жарский [и др.] – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.
2. Longya, X. A DSP Based Servo System Using Permanent Magnet Synchronous Motors (PMSM). / X. Longya, F. Minghua, L. Zhen. – The Ohio St. Univ., Dep. of Electrical Engineering, 2015.
3. Clarke and Park Transforms on the TMS320C2xx. App. Report Literature Number: BPRA048. Texas Instruments, 1997.