

Мешков А. С., Суздорф В. И.

ФОРМИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ МАССОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Мешков А. С., Суздорф В. И.

A.S. Meshkov, V.I. Susdorf

ФОРМИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ МАССОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

MODELLING THE PARAMETERS OF A LARGE ELECTRIC DRIVE



Мешков Александр Сергеевич – аспирант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Mr.Alexander S. Meshkov – PhD Candidate, Department of Electro Drive Engineering and Industrial Automation, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: kepapu@knastu.ru.



Суздорф Виктор Иванович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Mr.Victor I. Susdorf - PhD in Engineering, Professor at the Department of Electro Drive Engineering and Industrial Automation, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: kepapu@knastu.ru.

Аннотация. Рассмотрен способ стабилизации частоты вращения однофазного коллекторного электродвигателя, сигналом обратной связи в котором служит время спада ЭДС самоиндукции двигателя до нуля. Представлена математическая модель электропривода. С помощью программного комплекса MatLab получены статические характеристики двигателя.

Summary. The paper considers a method for stabilizing the rotation frequency of a single-phase commutator motor, with the feedback signal being the time of the fall of self-induced electromotive force of the drive down to zero. A mathematical model of the actuator is presented. Using the Matlab software, static characteristics of the engine are obtained.

Ключевые слова: однофазный коллекторный двигатель, стабилизация скорости, статическая характеристика, ЭДС самоиндукции.

Keywords: Single-phase commutator motor, speed hold , static characteristic, self-induction voltage.

УДК 621.313

Введение

Среди всех типов электродвигателей, применяемых в электроприводе массового назначения, одним из наиболее распространенных является однофазный коллекторный двигатель (ОКД) последовательного возбуждения. Высокоскоростные электродвигатели малой мощности находят широкое применение в медицинском оборудовании, бытовой технике и электрифицированном инструменте. Наличие таких качеств, как мягкие механические характеристики и большая перегрузочная способность по моменту, по большей части и определяют широкое применение этих электродвигателей.

При реализации регулируемого электропривода на основе ОКД возникают определённые трудности с формированием требуемых статических и динамических характеристик

и, в частности, с созданием систем стабилизации скорости. Они вызваны в первую очередь двумя факторами: 1) наличием относительно большого момента потерь, обусловленного потерями на вентиляцию и трением в подшипниках, из-за чего подключение к валу двигателя датчика скорости приведёт к ещё большему увеличению таких потерь; 2) отсутствием простых и надежных промышленно выпускаемых датчиков скорости для измерения скоростей выше 15000 об/мин.

Вследствие приведённых выше причин становится неэффективным использование традиционного датчика скорости при скоростях ниже 15000 об/мин и невозможным при скоростях выше 15000 об/мин. Ряд разработчиков (Bosch, MerloniProgetti и др.) предложил использовать косвенное измерение скорости двигателя. Для этого, как правило, необходимо измерять внутренние координаты электропривода. Одним из возможных решений было бы использование обратной связи по ЭДС вращения двигателя, но в приводах с ОКД последовательного возбуждения такая связь является трудно реализуемой из-за слабовыраженной зависимости ЭДС от частоты вращения, кроме того, в присущих для данного типа привода режимах прерывистого тока ЭДС равна нулю. По тем же причинам мне могут найти применения обратная связь по напряжению двигателя, а также осуществление стабилизации частоты вращения путем отслеживания частоты коллекторных пульсаций напряжения. Удобным является применение положительной обратной связи по току двигателя. Указанная связь проще реализуется либо с помощью шунта, либо трансформатора тока или же в зависимости от ЭДС самоиндукции цепи двигателя. Недостатком такого типа обратной связи служит то, что сигнал на её выходе не несет полной информации о частоте вращения и её изменениях, вызванных отдельными возмущениями (нагрев обмоток, изменение напряжения сети).

Решением описанных проблем может быть использование структуры, формирующей сигнал обратной связи в виде частного от текущих значений тока и частоты вращения двигателя при импульсном питании последнего. Для этого измеряется время спада ЭДС самоиндукции двигателя до нуля. Это время с большой степенью точности пропорционально значению тока якоря и обратно пропорционально частоте вращения двигателя. Достоинством указанного метода является возможность учесть большое число возмущений, в том числе нагрев обмоток двигателя, изменение напряжения сети и т.д.[1].

В данной статье рассмотрены реализация указанного способа стабилизации скорости ОКД при питании от широтно-импульсного преобразователя и статические характеристики такого привода.

Математическая модель электропривода с ОКД в системе стабилизации скорости

Якорная цепь ОКД описывается следующим стандартным уравнением [2]:

$$i(t) \cdot r_{яц} + \frac{di(t)}{dt} \cdot L_{яц} + c \cdot k_{\Phi} \cdot i(t) \cdot \omega(t) = U_{пит}(t), \quad (1)$$

где $U_{пит}(t)$ – напряжение питания двигателя (на выходе ШИП), В; $i(t)$ – ток якоря ОКД, А; $r_{яц}$ – суммарное активное сопротивление обмоток якорной цепи, Ом; $L_{яц}$ – суммарная индуктивность обмоток якорной цепи, Гн; c – конструктивный коэффициент электродвигателя; k_{Φ} – коэффициент пропорциональности между током двигателя и магнитным потоком; $\omega(t)$ – угловая частота вращения двигателя, c^{-1} .

Время спада ЭДС ОКД до нуля прямо пропорционально электромагнитной постоянной времени двигателя, и измерение её производится в момент, когда транзистор ШИП выключен и двигатель отключен от сети, а ток якоря протекает по шунтирующей якорь разрядной цепочке. Для этого случая перепишем уравнение (1) в операторной форме записи:

$$i(p) \cdot r_{яц} + i(p) \cdot p \cdot L_{яц} + c \cdot k_{\Phi} \cdot i(p) \cdot \omega(p) = 0. \quad (2)$$

Из последнего уравнения можно выразить постоянную времени, она определяется выражением:

$$T_{окд} = \frac{L_{яц}}{R_{яц} + c \cdot k_{\Phi} \cdot \omega(p)}. \quad (3)$$

Из представленных уравнений видно, что для поддержания стабильной скорости вращения двигателя необходимо поддерживать постоянным время спада ЭДС самоиндукции до нуля. Это осуществляется регулированием ширины импульсов питающего напряжения.

При решении поставленной задачи сделано допущение о том, что кривая намагничивания двигателя аппроксимируется двумя прямыми линиями, соответствующие режиму, когда сталь ещё не насыщена, и режиму насыщения. Но так как ток самоиндукции двигателя составляет 10-15% от номинального тока, то в расчетах используется только одно значение $k_{\Phi} = const$, соответствующее режиму ненасыщения.

Итак, как было сказано, от значения электромагнитной постоянной времени напрямую зависит время спада тока самоиндукции до нуля. И также оно обратно пропорционально текущей частоте вращения. Отсюда можно выделить два варианта построения модели данной системы управления: 1) определение постоянной времени, используя значение времени спада тока самоиндукции до нуля; 2) вычисление электромагнитной постоянной времени согласно уравнению (3). Для моделирования данного способа стабилизации частоты вращения не принципиально, каким из этих вариантов пользоваться. Гораздо удобнее второй вариант, тем более, что среда моделирования MatLab легко позволяет рассчитать скорость вращения. Но как было сказано ранее, на практике производить измерение скорости весьма затруднительно.

В соответствии с предложенным способом стабилизации скорости разработана функциональная схема такого электропривода. Она представлена на рис. 1.

Электропривод подключается к бытовой питающей сети напряжением 220 В (50 Гц), которое выпрямляется неуправляемым выпрямителем (В). Затем выпрямленное напряжение поступает на вход одноплечевого широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с симметричным законом управления.

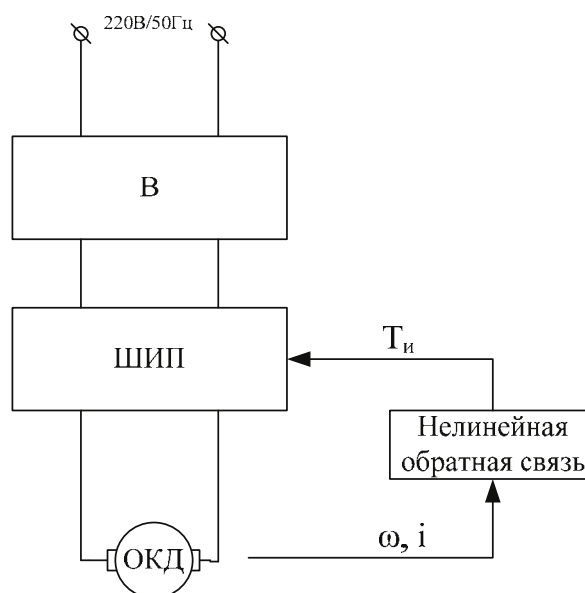


Рис. 1. Функциональная схема системы стабилизации скорости с ОКД

Непосредственно к ШИП подключается ОКД, с которого снимаются значения его внутренних координат. В блоке нелинейной обратной связи вычисляется значение электромагнитной постоянной времени и формируется пропорциональный ей управляющий сигнал для ШИП.

В качестве среды разработки и моделирования системы управления ОКД с нелинейной обратной связью использовался пакет инженерных и специализированных вычислений MatLab, как наиболее мощный на сегодняшний день инструмент анализа и синтеза систем автоматического управления. Модель представлена на рис. 2.

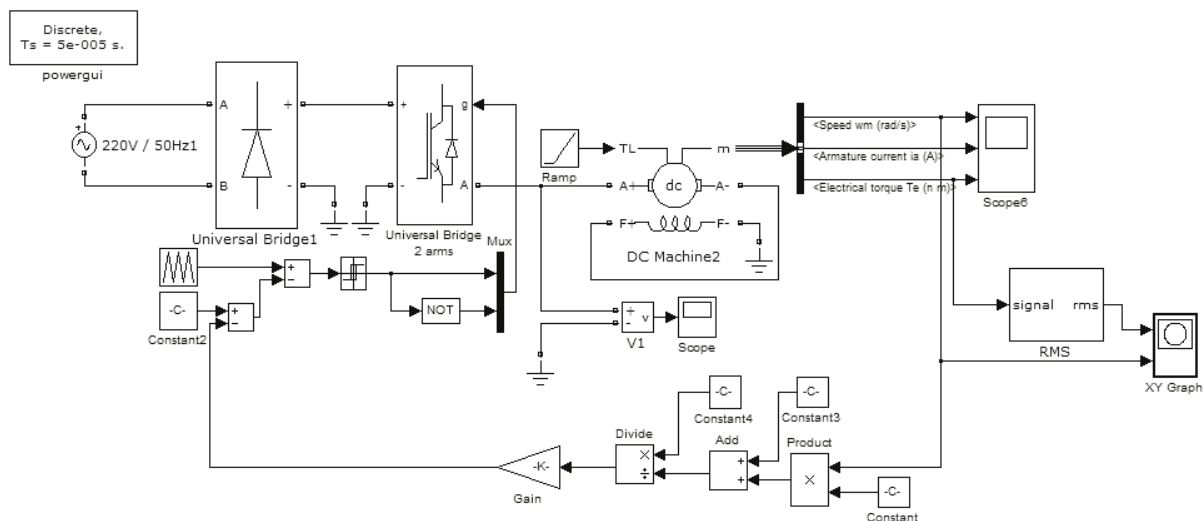


Рис. 2. Модель разрабатываемой системы управления

При моделировании использовались данные двигателя серии КОО-5361: $U_n = 220$ В, $P_n = 300$ Вт, $n_n = 12000$ об/мин, $M_n = 0.252$ Н·м.

Целью моделирования системы электропривода является получение статических механических характеристик для оценки стабилизации скорости. Результаты моделирования разомкнутой системы представлены на рис. 3.

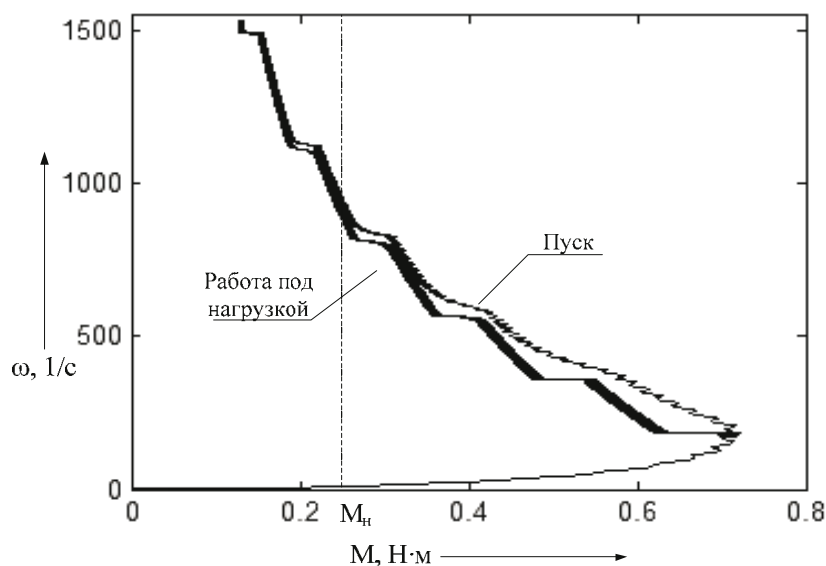


Рис. 3. Статическая характеристика разомкнутой системы электропривода

На нем четко виден участок пуска ОКД. Когда скорость достигает своего максимального значения при минимальном статическом моменте, который определяется постоянным

моментом потерь, подается линейно нарастающий момент нагрузки и скорость постепенно падает.

На рис. 4 представлена статическая характеристика замкнутой системы с нелинейной обратной связью. Здесь также хорошо представлен режим пуска. При работе на номинальную нагрузку статическая характеристика является абсолютно жесткой. Когда статический момент достигает критического значения, скорость начинает падать.

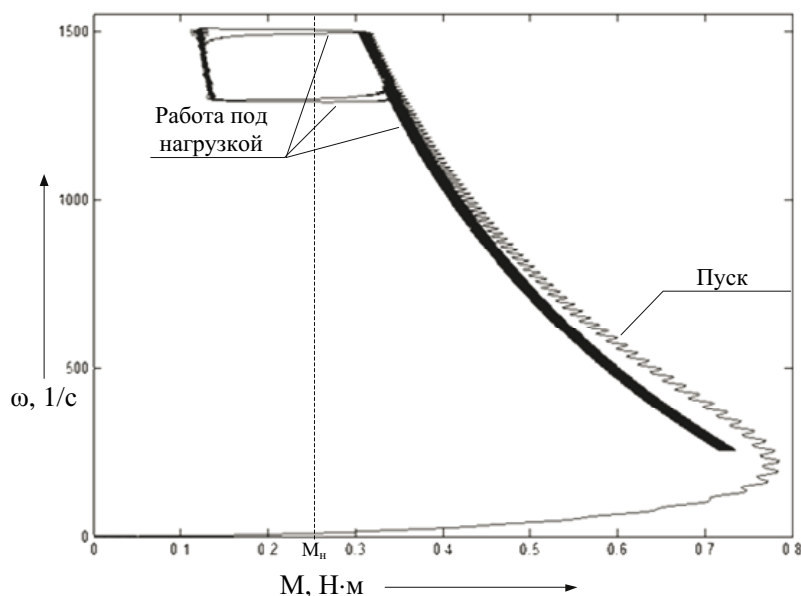


Рис. 4. Статическая характеристика замкнутой системы

Основным критерием сравнения качества статических характеристик является их жесткость в рабочем диапазоне нагрузок (от 0.12 до 0.35 Н·м). Жесткость статической характеристики разомкнутой системы, согласно результатам проведенного моделирования, равна: $\beta_p = 2.121 \cdot 10^{-4}$. Жесткость механической характеристики замкнутой системы: $\beta_p \approx \infty$.

Заключение

В статье предложен способ стабилизации частоты вращения ОКД и приведено моделирование такой системы управления. Проведенные исследования показали возможность формирования статических механических характеристик с заданными показателями жесткости. Разработанная модель обеспечила высокую сходимость с экспериментом, результаты которого приведены в статье [3], для того же электродвигателя серии КОО 561. Разработанный способ позволяет решать проблему стабилизации скорости высокоскоростных ОКД последовательного возбуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 997216 СССР, МКЛ³ Н 02 Р 5/12. Способ стабилизации частоты вращения однофазного коллекторного электродвигателя / А. Е. Алехин, А. С. Бобровский, Я. В. Петров, В. И. Суздорф (СССР) №3240934/24-07 ; заявл. 28.01.81 ; опубл. 15.02.83, Бюл. № 6-3 с.
2. Андреев, В. П. Основы электропривода / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. – Л. : Госэнергоиздат, 1963.
3. Алехин, А. Е. Структура и характеристики однофазного электропривода массового назначения / А. Е. Алехин, В. И. Суздорф // Автоматизация электромеханических систем. – Новосибирск : НЭТИ, 1983.