

14. Медведев М. Ю. Управление нелинейными многосвязными объектами в условиях неопределенности: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01 / Медведев Михаил Юрьевич; Таганрог. гос. радиотех. ун-т. Таганрог, 2010. 379 с.
15. Лубенцова Е. В. Построение одного класса систем с разрывным управлением // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-14: сб. трудов Международ. научной конференции: в 6 т. Т. 2. Секции 2; 5 / Смоленский филиал Моск. энерг. ин-та (техн. ун-та). Смоленск, 2001. С. 67–69.
16. Фильчаков П. Ф. Справочник по высшей математике. Киев: Наукова думка, 1973. 743 с.
17. Нейдорф Р. А. Эффективная аппроксимация кусочных функций в задачах квазиоптимального по воздействию управления // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-2000: сб. трудов Международной научной конференции: в 7 т. Т. 2. Секции 2; 8 / Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). СПб.: СПбГТУ, 2000. С. 18–22.

УДК: 621.313.223

Романенко Ирина Геннадьевна, Данилов Максим Иванович

МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ПИТАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Предложен алгоритм моделирования квазистационарных режимов двигателя постоянного тока, питающегося пульсирующим напряжением. Алгоритм базируется на проверочном расчете, дополненном динамической математической моделью двигателя для учета пульсаций. Представлены результаты моделирования скоростных и механических характеристик с использованием математической модели двигателя и без неё.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, рабочие характеристики, проверочный расчет, математическая модель.

Irina Romanenko, Maksim Danilov

MODELING OF QUASISTATIONARY MODES OF DIRECT-CURRENT MOTOR UNDER PULSATING SUPPLY USING DYNAMIC MATHEMATICAL MODEL

The algorithm of quasistationary modes modeling of DC motor feeding on pulsating voltage was introduced. The algorithm bases on verifying calculation amended by dynamic mathematical DC motor model for taking into account pulsating supply voltage. The results of speed and mechanical performance modeling with dynamic mathematical motor model and without it were presented.

Key words: DC motor, working characteristics, verifying calculation, mathematical model.

Результатом моделирования квазистационарных режимов двигателя постоянного тока (ДПТ) являются рабочие, скоростные и механические характеристики. При дефиците исходных данных необходимая информация может быть получена в ходе проверочного расчета двигателя.

Так как процедура проверочного расчета является трудоемкой и требует значительных затрат времени, в настоящей работе использовалась разработанная программа, предназначенная для выполнения проверочного расчета ДПТ средней и большой мощности. В первом случае обмотка возбуждения выполняется как параллельная обмотке якоря, во втором случае – как последовательная [1]. В качестве исходных данных используются технические характеристики двигателя, приведенные

в его паспорте: номинальные мощность, напряжение и частота вращения. Остальные параметры, необходимые для поверочного расчета, такие как массивы сечений проводов, эмпирические зависимости, включающие в себя также кривые намагничивания, составляют базу исходных данных параметров программы и используются в автоматическом режиме. По результатам расчета строятся скоростные, механические и рабочие характеристики.

Полученные таким образом характеристики не всегда удовлетворяют требуемой точности. Это связано с тем, что в реальных условиях двигатель постоянного тока питается от источника пульсирующего напряжения, а при поверочном расчете вычисления предполагают питание двигателя от постоянного по знаку и значению напряжения. Такие допущения не позволяют учитывать добавочные потери, возникающие при пульсации питающего напряжения.

В связи с этим для учета пульсирующего напряжения питания был разработан метод моделирования квазистационарных режимов, позволяющий повысить точность результатов расчета. В этом случае поверочный расчет дополняется модулем, осуществляющим динамический расчет. Соответствующий алгоритм представлен на рис. 1.

Динамический расчет представляет собой моделирование динамических (переходных) режимов двигателя с использованием математической модели двигателя постоянного тока. От выбора модели зависит точность получаемых результатов. В настоящей работе в динамическом расчете реализуется достаточно подробная модель двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, базирующаяся на уравнениях Фетисова – Сидельникова [2]. Она представляет собой систему нелинейных неоднородных дифференциальных уравнений. Система уравнений решается методом Рунге – Кутты четвертого порядка.



Рис. 1. Алгоритм функционирования поверочного расчета, дополненного модулем динамического расчета

Использование данной модели для квазистационарных режимов позволяет учесть не только пульсации питающего напряжения, но и такие факторы, как коммутационная реакция якоря, вихревые токи в магнитопроводе и обмотках якорной цепи.

Предложенный метод моделирования квазистационарных режимов с использованием динамической модели реализуется согласно алгоритму, представленному на рис. 2.

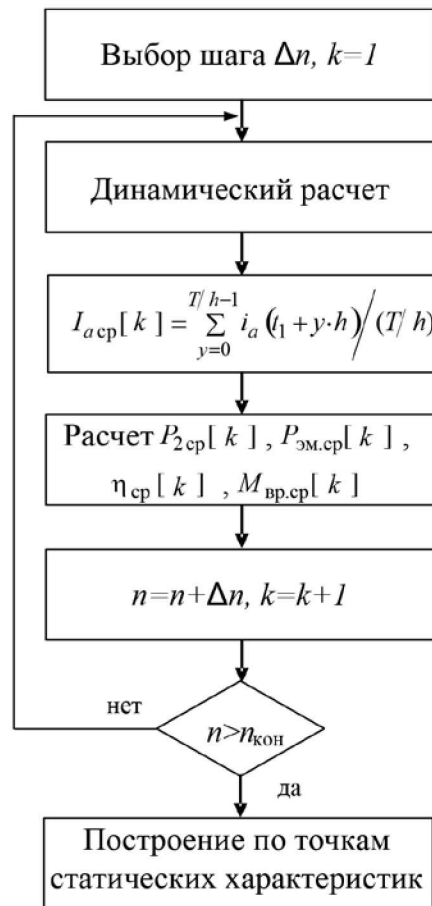


Рис. 2. Алгоритм моделирования статических характеристик при пульсирующем напряжении по результатам поверочного расчета

Для реализации предложенного метода задается приращение частоты вращения (Δn) и начальное значение переменной $k = 1$. Далее для текущего значения частоты вращения n и питающего напряжения заданной формы выполняется моделирование динамического режима [3] «сброс – восстановление питания» с использованием математической модели двигателя.

После завершения переходного процесса рассчитывается среднее за период значение тока якоря:

$$I_{a cp} = \sum_{y=0}^{T/h-1} i_a(t_1 + y \cdot h) / (T/h), \quad (1)$$

где i_a – мгновенное значение тока якоря; t_1 – время завершения переходного процесса; $y = 0, 1, 2, \dots, T/h-1$ – счетчик шагов, определяющий текущее время расчета; h – шаг динамического расчета; T – интервал времени, для которого определяется среднее значение тока якоря.

Полученное среднее за период значение тока якоря используется для расчета параметров статических характеристик: полезной мощности двигателя $P_{2 cp}$, момента вращения $M_{вр cp}$, КПД η_{cp} , электромагнитной мощности $P_{эм cp}$.

Далее значение частоты вращения увеличивается на шаг Δn и расчет повторяется. Вычисления производятся до достижения частотой вращения некоторого конечного значения $n_{\text{кон}}$, обычно равного номинальному $n_{\text{ном}}$. По полученным в результате расчета данным строятся графики механических, скоростных и рабочих характеристик.

В настоящей работе было проведено моделирование квазистационарных режимов тягового двигателя ТЭД-ЗУ1 согласно изложенному выше методу при фазности питающего напряжения $m = 2$. Результаты представлены на рис. 3–4.

На рис. 3 представлены графики скоростной и механической характеристик тягового двигателя ТЭД-ЗУ1 без использования (а) и с использованием (б) динамической модели двигателя: 1 – скоростная характеристика, 2 – механическая характеристика.

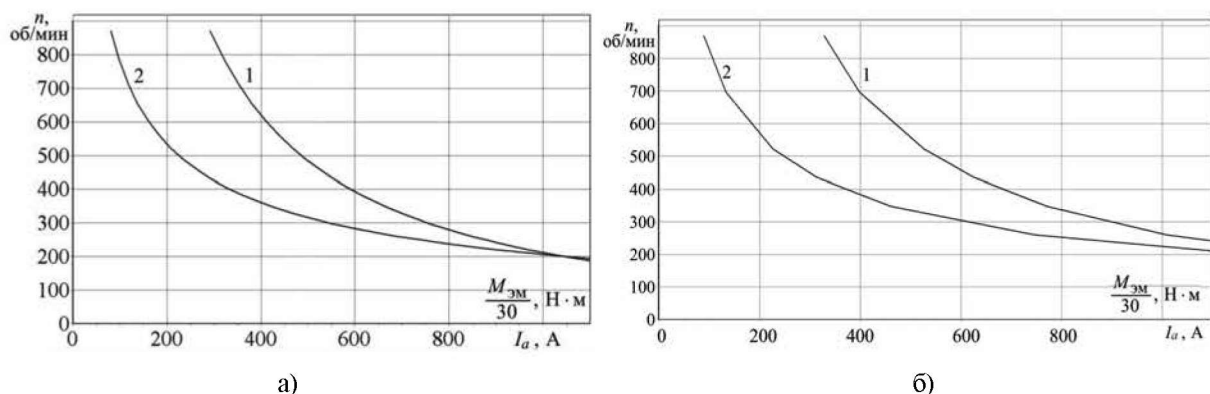


Рис. 3. Моделирование скоростной (1) и механической (2) характеристик двигателя ТЭД-ЗУ1 без использования (а) и с использованием (б) динамической модели двигателя

Из графиков видно отличие кривых, что обусловлено учетом пульсаций питающего напряжения и дополнительных потерь, учтенных благодаря использованию динамической модели. Наибольшая разница составляет приблизительно $\delta = 10\%$.

Анализ результатов расчета рабочих характеристик показал, что наибольшая погрешность неучета пульсаций питающего напряжения не превышает 10 %. Наиболее важной с экономической точки зрения среди рабочих характеристик является зависимость КПД от полезной мощности (рис. 4). По результатам выполненного моделирования было установлено, что при номинальной нагрузке на валу двигателя и фазности $m = 2$ относительная погрешность неучета пульсаций питающего напряжения по КПД для двигателя ТЭД-ЗУ1 составила $\approx 4\%$.

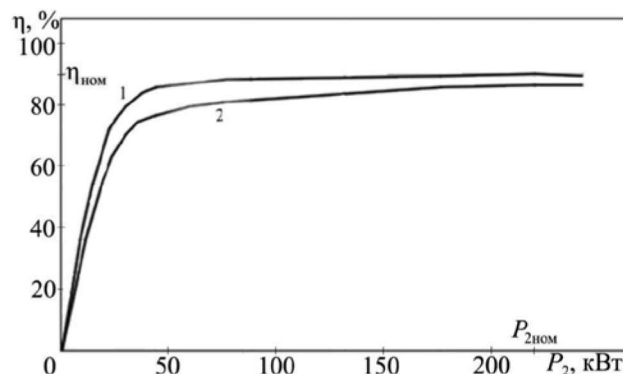


Рис. 4. Зависимость КПД от полезной мощности для двигателя ТЭД-ЗУ1 без использования (1) и с использованием (2) динамической модели двигателя

Анализ графиков (рис. 3–4) показал, что при высоких требованиях, предъявляемых к точности расчета, необходимо использовать предложенный метод моделирования статических характеристик, учитывающий пульсации питающего напряжения. При расчетах, не требующих повышенной точности, можно использовать стандартную процедуру поверочного расчета, требующую меньшей затраты времени и значительно уменьшающую количество выполняемых операций, а следовательно, и сложность расчета.

Литература

1. Седова И. Ю., Романенко И. Г. Поверочный расчет двигателя постоянного тока. Свид. о рег. прогр. для ЭВМ № 2007614327. Заяв. 24.07.2007, Оpubл. 10.10.2007. М.: ФИПС, 2007.
2. Владимирова Э. Г. Исследование переходных процессов машин постоянного тока с помощью ЭЦВМ / Э. Г. Владимирова, А. В. Сидельников, Б. В. Сидельников, В. В. Фетисов // Труды ЛПИ. 1969. Вып. 301. С. 103–113.
3. Романенко И. Г., Седова И. Ю. Динамический расчет тягового двигателя постоянного тока. Свид. о рег. прогр. для ЭВМ № 2008610671. Заяв. 19.12.2007, Оpubл. 07.02.2008. М.: ФИПС, 2008.