

УТОЧНЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ-АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Пеньков О.В., Чередник О.П.

Асинхронные двигатели (АД) малой и средней мощности с короткозамкнутым ротором по количеству выпуска и объему практического применения имеют наибольший удельный вес среди других видов электрических машин. Актуальной проблемой является создание на базе указанных двигателей регулируемых приводов массового применения, отличающихся простотой и надежностью. Наличие полупроводниковых преобразователей в электромеханических системах определенным образом влияет на работу электрических машин. АД в системах полупроводникового привода питаются полигармоничным напряжением с переменными параметрами. Изучение особенностей работы АД при этих условиях необходимо для обоснованного выбора электрических машин, которые эксплуатируются в этих системах. Поиски решения этой проблемы привели к исследованию совместной работы преобразователей частоты (ПЧ) и асинхронных машин [3, 6]. Одним из перспективных направлений развития регулируемого электропривода (ЭП) переменного тока является построение его на базе асинхронного двигателя при частотном управлении, что позволяет получить ряд технико-экономических преимуществ.

Полупроводниковый асинхронный привод относится к нелинейным импульсным системам с переменной структурой силовой цепи. При анализе подобных схем необходимо определить границы проводящего состояния полупроводников (транзисторы или тиристоры). Это представляет собой весьма сложную задачу, решение которой, как правило, осуществлялось заменой исследуемого АД на активно-индуктивную нагрузку. Однако такая замена не позволяет выявить специфические особенности и характеристики данного электропривода.

В современной практике применения асинхронных машин вместе с ПЧ возникает необходимость расчета электромагнитных и электромеханических переходных процессов. Большие возможности в изучении переходных режимов системы ПЧ-АД открывает создание математических моделей таких систем. Вычислительный эксперимент позволяет изучить сложные процессы электромеханического преобразования энергии в системе ПЧ-АД.

Вопрос математического описания электрических машин, работающих совместно с преобразователями, широко освещен в технической литературе. Для одних работ характерно моделирование преобразователя пассивными двухполюсниками, параметры которых изменяются скачкообразно в момент коммутаций. В этом случае решению подлежит одна и та же система уравне-

ний, которая часто имеет максимальный порядок. В других работах вентиль представляется в виде идеального ключа. При этом возникают затруднения при переформировании системы уравнений после коммутаций вентиля [1].

К настоящему времени для АД с короткозамкнутым ротором разработан ряд математических моделей, позволяющих рассчитывать статические и динамические режимы работы. Моделирование электромагнитных явлений в АД базируется на линейной теории машин переменного тока. При разработке математических моделей приняты общеизвестные допущения о постоянстве параметров магнитной цепи и обмоток статора и ротора АД [4]. Основные векторные уравнения для асинхронной машины в координатных осях, вращающихся с произвольной скоростью ω_k имеют следующий вид

$$\left[\begin{array}{l} \underline{U}_s = \dot{i}_s R_s + p \underline{\psi}_s + j \omega_k \underline{\psi}_s ; \\ 0 = \dot{i}_r R_r + p \underline{\psi}_r + j (\omega_k - \omega) \underline{\psi}_r ; \\ \underline{\psi}_s = L \sigma_s \dot{i}_s + \underline{\psi}_\mu ; \quad \underline{\psi}_r = L \sigma_r \dot{i}_r + \underline{\psi}_\mu ; \\ M = 1,5 p_1 \underline{\psi}_s \times \dot{i}_s ; \quad p \omega = p_1 (M - M_c(\omega)) / J \end{array} \right. \quad (1)$$

Где \dot{i}_s , \dot{i}_r , $\underline{\psi}_s$, $\underline{\psi}_r$, $\underline{\psi}_\mu$, $L \sigma_s$, $L \sigma_r$ – соответственно результирующие векторы токов, потокосцеплений, индуктивностей рассеяния статора и ротора; M – электромагнитный момент; $M_c(\omega)$ – момент сопротивления на валу; J – суммарный момент инерции привода; ω – угловая скорость вращения ротора; p_1 – число пар полюсов, p – символ дифференцирования. Такие модели учитывают только основные физические явления, особо проявляющиеся, как правило, в рабочих режимах. Поэтому они пригодны для расчетов ограниченных групп приводов.

Существует весьма широкий спектр вопросов, на которые линейная теория асинхронной машины не может дать удовлетворительного ответа. Это вопросы, которые связаны с расчетом переходных процессов с резким изменением магнитного состояния. Так как насыщения главного магнитного пути существенно изменяет параметры машины, что в свою очередь связано с изменением не только коэффициентов, но и структуры уравнений, описывающих электромагнитные процессы в АД (2). Корректный учет указанного явления необходим не только на стадии проектирования ЭП, но и при диагностировании работающего оборудования. Поскольку игнорирование насыщения может, в силу структурной сложности и нелинейности АД как объекта управления, привести к ухудшению регулировочных характеристик, а также устойчивости работы машины при широком диапазоне регулирования частоты.

Если машина насыщена то система уравнений (1) преобразуется в систему уравнений (2)

$$\left[\begin{array}{l} \underline{U}_s = \underline{i}_s R_s + L_{\sigma s} p \underline{i}_s + L_{s\mu} p \underline{i}_\mu - \Delta E_\mu(t) + j\omega_k \underline{\psi}_s ; \\ 0 = \underline{i}_r R_r + L_{\sigma r} p \underline{i}_r + L_{s\mu} p \underline{i}_\mu - \Delta E_\mu(t) + j(\omega_k - \omega) \underline{\psi}_r ; \\ \Delta E_\mu(t) = -p L_{s\mu} \underline{i}_\mu(t) \end{array} \right. \quad (2)$$

В системе дифференциальных уравнений (2) ЭДС $\Delta E_\mu(t)$ отражает учет нелинейных трансформаторных связей между взаимноортогональными контурами.

В насыщенной машине динамические коэффициенты само- и взаимной индукции, фигурирующие в дифференциальных уравнениях в неявном виде, зависят не только от токов во всех обмотках, но также и от пространственного расположения фаз ротора. Для исключения данной зависимости воспользуемся линейными преобразованиями к неподвижной в пространстве системе координат $\alpha, \beta, 0$ ($\omega_k = 0$). В этой системе координат коэффициенты дифференциальных уравнений ненасыщенной машины являются постоянными величинами. В случае насыщения, эти коэффициенты зависят только от магнитного состояния в данный момент времени.

На основании системы уравнений (1) и (2) были разработаны алгоритмы и блок-схемы для решения дифференциальных уравнений асинхронной машины с учетом насыщения и без него. Также, в разработанной программе заложены модели ПЧ с синусоидальной формой кривой выходного напряжения (тока) и ступенчатой. Ступенчатая форма выходного напряжения (тока) запрограммирована на основании коммутационных функций (1). Коммутационные функции позволяют моделировать преобразователь частоты при проводимости ключевых элементов длительностью равной 120 и 180 электрических градусам.

Последовательность вычислительных операций при анализе электромагнитных процессов системы ПЧ – АД следующая:

1. Ввод исходных данных АД;
2. Расчет параметров схемы замещения АД (одноконтурная или многоконтурная);
3. Выбор закона частотного управления;
4. Выбор математической модели ПЧ;
5. Выбор математической модели АД (линейная или нелинейная);
6. Расчет статических и динамических режимов системы ПЧ–АД;
7. Обработка полученных результатов;
8. Печать расчетных данных.

Решение системы дифференциальных уравнений (1) и (2) осуществлено методом Рунге-Кутты с шагом интегрирования 0,001 с. Для получения нагляд-

ных результатов расчеты пусковых процессов были проведены для АД типа 4А123М4 мощностью 11 квт. Параметры схемы замещения определены на основании каталожных данных. Кривая намагничивания аппроксимирована методом наименьших квадратов.

Расчеты переходных процессов АД без учета насыщения показали существенное перерегулирование потокосцепления и электромагнитного момента, достигающие 40 % при пуске машины с нулевым начальным потоком. Время переходного процесса установления момента составляет примерно $3T_r$ [5]. Сравнение расчетных данных с экспериментальными показывает, что расчетные формулы дают удовлетворительную точность лишь при потоках, меньших номинального, когда нелинейность магнитной цепи проявляется несущественно.

Расчеты с учетом нелинейности магнитной цепи показывают, что перерегулирование момента и потокосцепления при пуске составляют (8–12)%. Время установления заданного значения момента уменьшается. При предварительном задании начального потока, равного $(1-1,2)\Phi_n$, время переходного процесса значительно сокращается. Насыщение магнитной цепи АД оказывает существенное демпфирующее действие на электромагнитные переходные процессы.

Таким образом, насыщение магнитной цепи АД приводит к существенному улучшению качества переходного процесса – уменьшению перерегулирования и времени установления электромагнитного момента. Из анализа полученных данных следует, что при больших значениях момента и тока статора АД в переходных процессах работа на существенно нелинейном участке кривой намагничивания целесообразна также с точки зрения наилучшего использования ПЧ и АД.

Предложенная математическая модель, содержащая уравнения АД и уравнения преобразователя частоты, позволяет производить расчет электромеханических и электромагнитных процессов системы ПЧ – АД с учетом нелинейных трансформаторных связей между взаимноортогональными контурами.

При использовании разработанной модели АД необходимо наличие корректной информации о значениях параметров, входящих в уравнение. В противном случае теряется практический смысл повышения точности описания электромагнитных процессов в АД путем дифференциации параметров.

Результаты выполненных расчетно-теоретических исследований характеристик системы ПЧ-АД полученные на основе проверочного метода расчета, имеют практическую направленность и могут использоваться, как оценочные для решения задач синтеза и анализа. Они представляются той начальной информацией, позволяющей обоснованно и достаточно просто определить основные параметры, обеспечивающие лучшие технико-экономические показатели ПЧ-АД.

Список литературы

1. Плахтына Е.Г. Математическое моделирование электромашиноventельных систем, – Львов, 1986.
2. Копылов И.П. Электрические машины, – М.: 1986.
3. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е. Электрические машины и микромашины, – М.: 1990.
4. Лившиц М.И., Королев А.Н. Математическая модель установившегося режима и схема замещения многофазного асинхронного двигателя // Электротехника, 1990. №8.
5. Пеньков О.В., Живец А. Расчет характеристик частотно-управляемых асинхронных двигателей с учетом насыщения магнитной цепи, Сборник научных трудов ЭНФ, Донецк: 1996, – с. 19-25.
6. Корниенко В.П., Корниенко Ю.В. Приближенная модель для исследования пуска асинхронного двигателя с тиристорным регулятором напряжения, Сборник научных трудов ЭНФ, Донецк: 1996. – с. 49-51.



Рис. 1 - Структурная схема ВД