

следов колёс. Кроме снижения сопротивления качению за счет прокладывания меньшего количества колёй (меньшей деформации грунтовой поверхности), этот путь позволяет получить и меньшую разницу проходимых колёсами расстояний с определенным уменьшением действующих на колёса продольных и боковых сил, а следовательно, и коэффициентов использования сил сцепления.

Расчеты показывают, что на деформируемых грунтовых поверхностях при статическом повороте с минимальным радиусом при полном совпадении следов колёс одного борта сопротивление качению представленных автомобилей всего лишь на 15...25 % больше, чем при прямолинейном их движении. Необходимо, правда, отметить, что такие величины соответствуют установившемуся повороту. На практике же при входе автомобилей в поворот и выходе из него при отсутствии электрического или гидрообъёмного привода к колёсам величины сопротивления качению заметно возрастают.

Во-вторых, полученные результаты показывают, что при определенных величинах радиуса поворота, которые могут быть получены экспериментальным или расчетным путём, целесообразно отключение блокирования дифференциалов. Например, при повороте автомобиля Урал-4320-31 на сухом сыпучем песке при радиусе поворота менее 20 м. Но при полностью дифференциальном приводе к колёсам наименьшие коэффициенты сопротивления качению и особенно использования сцепных сил могут быть достигнуты только при определенных соотношениях крутящих моментов на колёсах, различных для разных грунтовых поверхностей и радиусов поворота. Простые же механические дифференциалы обеспечивают лишь одно распределение моментов по осям (колёсам), поэтому при меняющихся грунтовых условиях выключение блокирования дифференциалов может привести к потере проходимости.

Таким образом, для существенного улучшения маневренности полноприводных автомобилей необходимо обеспечить и меняющееся распределение моментов, и соответствующую траекториям перемещения (радиусам поворота) колёс частоту их вращения без буксования или с одинаковым буксованием. Это может быть реализовано только при применении регулируемых электрических или гидрообъёмных приводов к колёсам автомобиля.

Литература

1. Аксенов П.В. Многоосные автомобили: Теория общих конструктивных решений. – М.: Машиностроение, 1989.
2. Чистов М.П., Шухман С.Б., Комаров В.А. Влияние различных параметров автомобилей на показатели криволинейного движения по деформируемым грунтам. Материалы работы ААИ в 1998 году (доклады, тезисы). – Дмитров, 1998.
3. Оценка и выбор пневматических шин регулируемого давления для армейских автомобилей/ В.Н. Абрамов, М.П. Чистов, И.В. Веселов, А.А. Колтуков; Под ред. В.В. Шипилова. – ФГУП 21 НИИИ МО РФ, 2006.
4. ГОСТ Р В 52395-2005. Шины пневматические с регулируемым давлением для военной техники. – М.: Издательство стандартов, 2005.

Современные тенденции управления автомобильным электроприводом

к.т.н. Жматов Д.В., Горкин В.П., Пахомова Е.Э.

Московский институт энергобезопасности энергосбережения,

Университет машиностроения,

(495)652-20-04, absh-sila@rambler.ru, (495)223-05-23, доб. 1574, gorvall169@yandex.ru,

light62@mail.ru

Аннотация. В статье осуществлен обзор вентильного электропривода на контроллере IRMCS3041 компании International Rectifier. Представлены аппаратно-программные средства для определения и сравнения параметров электроприводов. Измерительный комплекс разработан на кафедре «Электротехника и электротехника».

троники» в Московском институте энергобезопасности энергосбережения.

Ключевые слова: *вентильный электропривод, энергетические характеристики двигателя, векторное управление, система iMotion.*

Одним из перспективных классов электрических машин для электроприводов гибридных автомобилей являются двигатели переменного тока как асинхронные, так и вентильные.

Электродвигатели переменного тока подключаются от высоковольтной аккумуляторной Li-Ion или Ni-Cd батареи напряжением (400...600 В) через преобразователь постоянного тока в переменный (DC/AC). Управление таким электроприводом осуществлялось релейной «классической» схемой или с помощью частотного управления через преобразователь частоты напряжения питания.

Вентильные двигатели (ВД) имеют все достоинства двигателей постоянного тока по регулировочным и механическим характеристикам. Благодаря отсутствию механического коллектора они обладают высокой надежностью, большими отношениями «момент на единицу массы», бесконтактностью и отсутствием узлов, нуждающихся в обслуживании [1].

ВД обладают уникальным сочетанием свойств, недостижимым для других типов электрических машин (асинхронных, коллекторных постоянного тока, индукторных), а именно — высокой энергетической эффективностью, повышенными динамическими свойствами, малыми массой и габаритами, хорошей управляемостью. До недавнего времени основным фактором, препятствующим широкому внедрению ВД, являлась повышенная стоимость изготовления ротора с постоянными магнитами по сравнению с производством роторов для других типов электрических машин. Однако заметный прогресс как в производстве самих магнитов, так и в технологии сборки роторов привел в последнее время к заметному снижению стоимости ВД, а многообразие современных магнитных материалов и магнитных систем позволяет предельно гибко и эффективно проектировать ВД с заданными параметрами. Более того, использование новейших достижений в областях силовой и информационной электроники позволяет реализовывать различные алгоритмы управления ВД для обеспечения регулирования выходных параметров электроприводов.

Однако в состав классических ВД входит узел датчика положения ротора (ДПР), что существенно удорожает конструкцию и предполагает наличие проводной связи этого узла с электронным преобразователем, управляющим работой ВД. Поэтому во всем мире проводятся интенсивные работы по созданию синхронных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов без ДПР, в которых определение углового положения ротора осуществляется системой управления [2].

Обычно включение электроприводов переменного тока осуществлялось по схеме классического прямого пуска, что требовало больших затрат мощности от источника питания.

На рисунке 1 приведена типовая релейная схема подключения двигателя переменного тока.

В настоящее время применительно к вентильным двигателям существуют и более совершенные системы управления, например векторное управление [3].

Идея управления основывается на использовании выражения для момента двигателя в форме:

$$M = \frac{1}{2} m p \Psi_p i_s \sin \varphi_{\psi_i}, \quad (1)$$

где: m, p – число фаз и пар полюсов двигателя;

Ψ_δ - результирующее потокоцепление на пару полюсов, обусловленное потоками в зазоре, создаваемыми токами статора и ротора;

i_s – ток статора;

φ_{ψ_i} - угол между векторами потокоцепления и тока $\dot{\Psi}_\delta$ и \dot{I}_s .

Управляя величинами i_s и φ_{ψ_i} в соответствии с информацией о реальных значениях

потокосцеплений Ψ_p , токов i_s и скоростей ротора можно организовать управление моментом M и скоростью n_2 . При этом можно обеспечить механические и регулировочные характеристики вентильного двигателя.

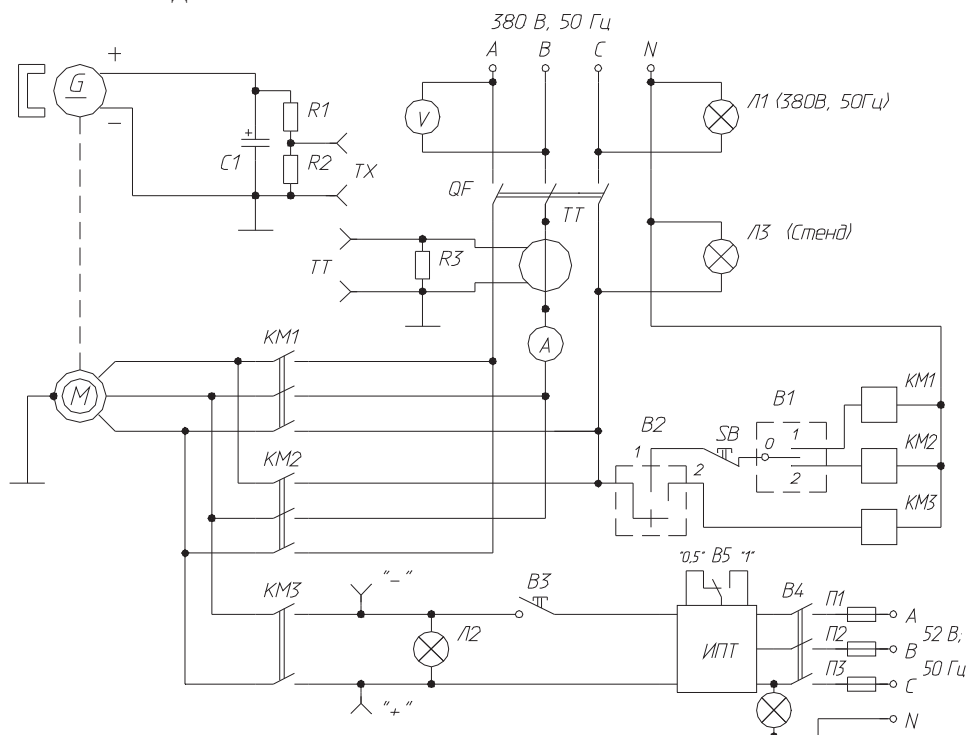


Рисунок 1. Электрическая схема управления вентильным автомобильным электроприводом

Компания International Rectifier предлагает систему управления ВД, которая называется iMotion. При разработке системы iMotion компанией International Rectifier для определения положения ротора был применен алгоритм на жесткой логике — Motion Control Engine (MCE). Участие микроконтроллера заключается лишь в конфигурировании параметров MCE. Это позволяет применять простой и дешевый микроконтроллер без снижения быстродействия и качества работы системы электропривода [3].

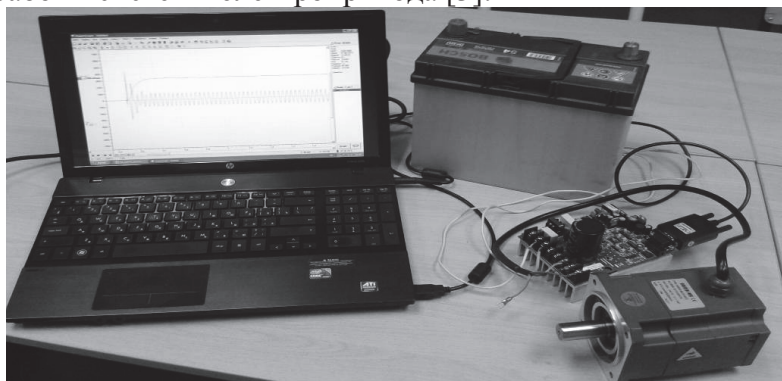


Рисунок 2. Система управления вентильным двигателем

Чтобы достичь максимального момента вращения, алгоритм токового управления с обратной связью по скорости использует положение угла ротора для синхронизации токов двигателя с потоком ротора. На рисунке 2 показан общий вид системы управления ВД с контроллером IRMCS3041.

Расчетная математическая модель схемы замещения цепей обмоток ротора и статора ВД для векторного управления (рисунок 3) представлена в виде систем уравнений (2, 3):

$$\begin{cases} \Psi_{sa} = L \cdot I_{sa} + \Psi_{p\alpha} = L \cdot I_{sa} + \Psi_p \cos(\varphi) \\ \Psi_{sb} = L \cdot I_{sb} + \Psi_{p\beta} = L \cdot I_{sb} + \Psi_p \cos(\varphi) \end{cases} \quad (2)$$

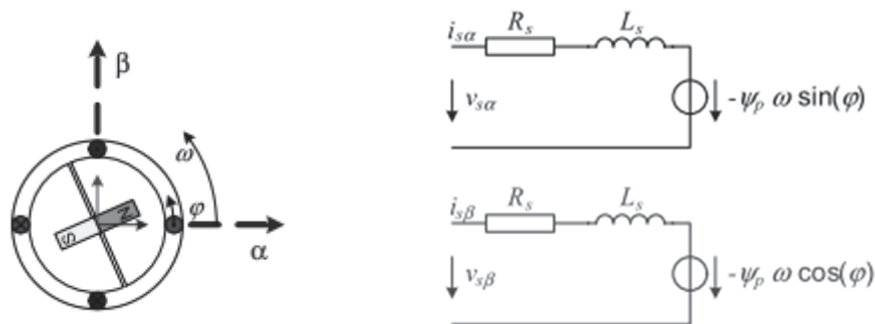


Рисунок 3. Схемы замещения цепей обмоток ротора и статора ВД для векторного управления

Потокосцепление статора в формуле (2) зависит от индуктивности и тока обмотки L, i_s , а также потокосцепления ротора Ψ_p , обеспечиваемого постоянным магнитом. Напряжение на статоре в формуле (3) зависит от активного сопротивления и тока обмотки R, i_s , а также от производной потока статора.

$$\begin{cases} U_{s\alpha} = R \cdot i_{s\alpha} + \frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt} = R \cdot i_{s\alpha} + L \frac{di_{s\alpha}}{dt} - \Psi_p \frac{d\varphi}{dt} \sin(\varphi) \\ U_{s\beta} = R \cdot i_{s\beta} + \frac{d\Psi_{s\beta}}{dt} = R \cdot i_{s\beta} + L \frac{di_{s\beta}}{dt} + \Psi_p \frac{d\varphi}{dt} \cos(\varphi) \end{cases} \quad (3)$$

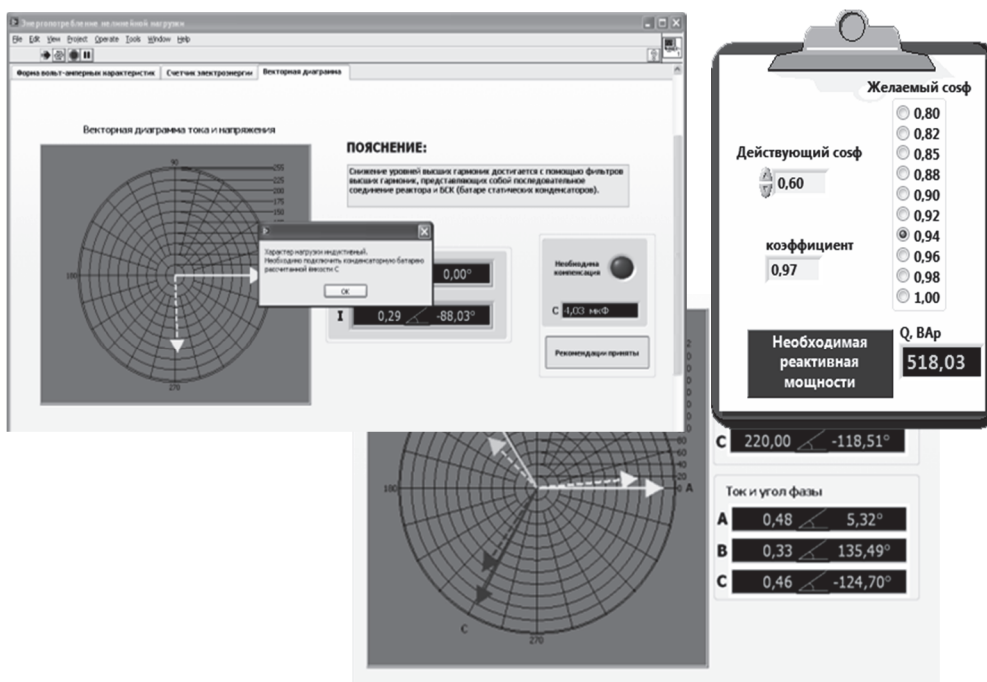


Рисунок 4. Векторные диаграммы

Для оценки эффективности электропривода и его схемы управления разработан аппаратно-программный комплекс, который позволяет осуществить:

- измерение значения действующих напряжений и силы переменного тока в трехфазной сети;
- измерение активной, реактивной и полной мощности, определение коэффициента мощности в трехфазной сети;
- измерение частоты основной гармоники сетевого напряжения;
- измерение угла между напряжением и током в каждой фазе. Построение векторных диаграмм;
- измерение гармонических составляющих токов и напряжений в интервале до 50-й гармо-

ники;

- отображение уровней гармоник напряжения и тока в виде графика амплитудного спектра;
- определение коэффициента нелинейных искажений по напряжению и току;
- определение несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательности;
- регистрация параметров сети электроснабжения с установленной частотой и сохранение их в электронные счетные таблицы MS Excel.

На векторной диаграмме (рисунок 4) показано потребляемое напряжение и ток из трехфазной сети электродвигателем переменного тока со следующими параметрами $U_n = 380$ В, $I_n = 2,4$ А, общей мощностью 0,75 кВт. Система также определяет необходимую реактивную составляющую для выбора компенсирующих устройств [4].

При расчете компенсационных устройств реактивной мощности для производственных помещений используется база технологических знаний системы, из которой оператору предоставляется необходимый коэффициент мощности.

Выводы

1. Проведенные исследования схемы векторного управления компании International Rectifier для управления бездатчиковым вентильным электродвигателем показали ее эффективность и пригодность для автомобильных электроприводов, работающих в режимах пуска, торможения и реверса, т.е. в переходных режимах. Блок управления контроллером IRMCS3041 также обеспечивает эффективное энергосбережение и рекуперацию энергии.
2. Использование разработанного измерительного аппаратно-программного комплекса позволит оценивать основные энергетические параметры автомобильных электроприводов с двигателями переменного тока и выбрать нужную схему электронного управления при их конструировании.

Литература

1. Горкин В.П., Зубков А.С., Розовская М.А. Анализ программных продуктов для расчета магнитных систем датчиков положения ротора для вентильных двигателей. Диагностика и надежность энергооборудования. // Энергобезопасность и энергосбережение М.: ПТФ-МИЭЭ, 2013 – № 2. – с. 33 – 37.
2. Сизякин А., Румянцев М. Без датчика положения ротора: решения компании IR для управления вентильными двигателями. Новости электроники. 2011 – № 10. – с. 22-28.
3. Овчинников И. Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе. – С-Пб.: Корона-Век, 2012. – с. 57–74.
4. Жматов Д.В. Модели и методы идентификации нелинейных искажений в электрических сетях в информационно-управляющих интегрированных комплексах электроснабжения: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.06/ Жматов Дмитрий Владимирович. - М.: 2012. 23 с.