

# Моментный электропривод для прецизионных следящих систем

**Сергей Капралов, Владимир Матвеев, Виктор Майоров, Денис Павлов, Анатолий Смуров (г. Великий Новгород)**

Статья содержит краткий анализ существующих и перспективных научно-технических направлений, связанных с применением электропривода. Основное внимание уделено безредукторному моментному приводу, позволяющему реализовать в следящей системе качественно новые конструктивные и функциональные характеристики.

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие высокоинтеллектуальных устройств программного движения, наведения, слежения и сканирования предъявляет жёсткие требования к точности механических систем позиционирования. Современные технологии требуют от электропривода повышения качества движения (как в статике, так и в динамике), быстродействия, надёжности и эффективности наряду с уменьшением стоимости и вносимых приводом искажений в сетевое напряжение. Это обуславливает применение как «новых» двигателей (вентильных, вентильно-индукторных, бесколлекторных), так и более сложных методов управления электроприводом, реализуемых на новой элементной базе (силовой и управляющей).

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

Традиционное построение электропривода в виде электродвигателя постоянного или переменного тока и понижающего редуктора в настоящее время почти исчерпало возможности повышения точности, быстродействия и надёжности. Для этих приборов сложился сравнительно устойчивый конструктивный облик исполнительных электродвигателей малой мощности, применяемых в системах автоматического управления. В большинстве случаев двигатели имеют корпусную конструкцию, контактные узлы (для коллекторного варианта), частоту вращения несколько тысяч оборотов в минуту и отвод тепла во вращающемся якоре. Всё это приводит к существенным ограничениям по эксплуатационным условиям и ре-

жимам, а также уменьшает время наработки двигателей на отказ.

Заметное улучшение качественных показателей систем наведения может быть достигнуто благодаря использованию безредукторного привода на базе бесконтактных моментных электродвигателей. Характерной особенностью данного типа электропривода является оптимальное значение статической добротности, т.е. наибольшая величина момента в единице массы и низкие диэлектрические потери в обмотке якоря. Отсутствие редуктора и связанных с ним люфтов, зазоров и моментов трения обеспечивает уникальные свойства электропривода: плавность хода, высокие точностные и динамические показатели, естественную стабилизацию ротора моментного двигателя с объектом управления при работе на подвижном основании, большую жёсткость механической системы и высокую частоту собственных колебаний.

С другой стороны, моментные двигатели часто имеют большую массу и мощность потерь, чем традиционный привод с редуктором. Для них требуется более качественная электроника – как информационная, так и силовая. В отличие от бесконтактных двигателей постоянного тока с дискретной коммутацией, моментные двигатели используют схемы питания с непрерывным изменением фазных напряжений как функции угла поворота ротора и с формированием сигнала, пропорционального требуемому моменту.

Одним из основоположников моментного электропривода является

В.Н. Бродовский, значительно продвинувший теорию частотно-токового управления синхронными и асинхронными двигателями. В Казанском авиационном институте под руководством проф. Л.И. Столова успешно развивалось направление «Моментные двигатели с постоянными магнитами». Ведущую роль в разработках моментных электроприводов, которые производились совместно со специалистами завода «Машиноаппарат» (г. Москва), играют работы А.Г. Микерова (НПО «Ленинец», Санкт-Петербург).

Больших успехов в области моментного электропривода достигла фирма Aeroflex ([www.aeroflex.com](http://www.aeroflex.com)), основанная в 1937 г. Подразделение Motion Control Systems этой корпорации занимается разработкой компонентов и систем управления движением аэрокосмического и военного применения. Малое значение коэффициента вязкого трения, большая величина момента, прекрасные массогабаритные показатели, широкий диапазон рабочих температур – всё это, в первую очередь, достигается за счёт улучшенной конструкции, применения материалов высокой степени чистоты (<1% TML и <0,1% CVCM) и высокоэнергетических магнитов неодим–железо–бор.

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Моментные электроприводы предназначены для вращения объектов управления в прецизионных электромеханических системах стабилизации, программного движения и слежения.

Для моментного электропривода характерна идеология построения системы управления в пространстве переменных состояний, т.е. управляющее устройство по текущему углу поворота и частоте вращения вырабатывает требуемое значение электромагнитного момента. Такой подход к синтезу автоматизированного электропривода существенно отли-

чается от принципа подчинённого регулирования с тремя контурами управления (по углу, скорости вращения и току).

По виду регулируемой физической величины моментный электропривод может быть предназначен для углового перемещения объекта управления, для вращения объекта с требуемой частотой (постоянной либо изменяемой по некоторому закону), а также для приложения к объекту управления требуемого момента.

В качестве перспективных областей применения бесконтактных моментных приводов можно выделить следующие:

- быстродействующие программные или следящие системы угловой стабилизации высокой точности с динамической ошибкой 1...3 угловых мин и менее (как правило, в безредукторном исполнении);
- системы автоматического управления различного назначения в редукторном и безредукторном исполнении с повышенными показателями надёжности и срока службы (с наработкой на отказ 20...50 тыс. ч и более), в том числе работающие в особо тяжёлых условиях эксплуатации;
- исполнительные системы роботов и манипуляторов;
- товары бытового назначения (стиральные машины, кухонные комбайны и т.п.).

В настоящее время наметилась тенденция применения бесконтактных моментных электродвигателей для безредукторного регулируемого электропривода в медицинском приборостроении (аппараты «искусственная почка» и принудительного кровообращения, где предъявляются повышенные требования к уровню шума, пульсаций вращающего момента и т.п.).

Ввиду конструктивных особенностей («плоское» встраиваемое исполнение) представляется перспективным использование электродвигателей в приводах мотор-колёс электрифицированных транспортных средств, а также в качестве генераторов (например, в ветросиловых установках) для создания регулируемой нагрузки в велотренажёрах и т.д.

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Моментный электродвигатель имеет модульную структуру, т.е. содержит

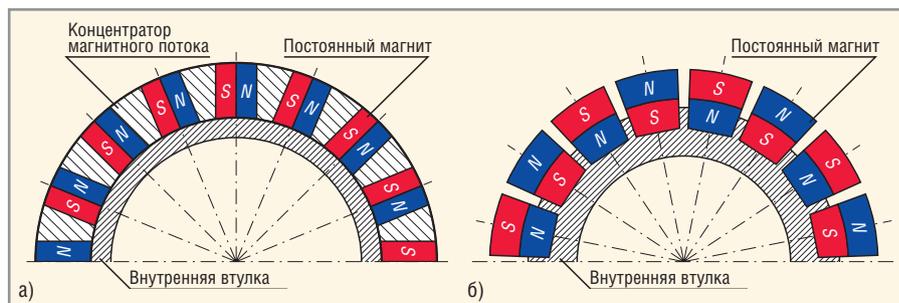


Рис. 1. Ротор моментного электродвигателя

(а) с тангенциальным намагничиванием магнитов; (б) с радиальным намагничиванием магнитов

две отдельные сборочные единицы – ротор и статор, собираемые потребителем по специальным требованиям. Это позволяет не только расширить функциональные возможности привода, но и обеспечить компактность конструкции при непосредственном соединении двигателя с исполнительным устройством. Центральное отверстие в роторе, являющееся посадочной поверхностью, обеспечивает возможность прокладки волноводов, волоконно-оптических и электрических кабелей, а также построения открытых и зеркальных оптических схем. Кроме того, встраиваемое конструктивное исполнение предоставляет возможность интенсивного отвода тепла, выделяющегося в статоре.

Отсутствие редуктора уменьшает металло- и трудоёмкость изготовления привода, его износ, шум при работе и упрощает обслуживание. Однако основное преимущество безредукторных приводов заключается в возможности повышения точности за счёт отсутствия люфтов, существенного уменьшения «мёртвого хода», повышения резонансной частоты, а также снижения моментов сухого трения и других нежелательных факторов. Отсутствие редуктора позволяет обеспечить длительное сканирование с высокой частотой, скачкообразные шаговые движения и другие специальные режимы работы, требующие от привода высоких ускорений и частых реверсов.

Моментные электродвигатели имеют многополюсный ротор с тангенциальным (см. рис. 1а) либо радиальным (рис. 1б) намагничиванием магнитов. С целью обеспечения максимальной статической добротности используются высокоэнергетические постоянные магниты из материала самарий–кобальт или неодим–железо–бор, при этом отно-

шение осевой длины ротора к его длине составляет 0,2...0,4. Применение высокоэнергетических магнитов решает задачу обеспечения устойчивости двигателя к пусковым токам, перегрузкам по току и моменту, а также позволяет намагничивать магниты до их установки в ротор и не предусматривать специальных мер их защиты от размагничивания.

В случае ротора с тангенциальным намагничиванием магнитов внутренняя втулка выполняется из немагнитной нержавеющей стали, а полюсы, выполняющие роль концентраторов магнитного потока, – из шихтованных листов материала типа 50Н толщиной около 0,5 мм. Для ротора с радиальным намагничиванием магнитов внутренняя втулка изготавливается из магнитомягкого материала и служит замыкателем магнитного потока.

Статор моментного электродвигателя также может иметь два конструктивных исполнения с двухслойной петлевой обмоткой: гладкий (беспазовый) и пазовый. Для гладкого статора характерно отсутствие реактивного остаточного момента сопротивления и пульсаций вращающего момента, а также малые электромагнитные постоянные времени обмоток. Пазовый статор позволяет обеспечить более высокую магнитную индукцию в воздушном зазоре, повышенную статическую добротность и меньшую электрохимическую постоянную времени, чем в двигателях с гладким статором.

## Выводы

Бесконтактные моментные электродвигатели уступают традиционному приводу с редуктором в первую очередь по массе и габаритам. Отсутствие или малое скоростное демпфирование в моментных двигателях требует применения датчика частоты

вращения или дифференцирующего устройства. Электронные схемы питания синхронных и асинхронных машин моментного привода более сложные, чем, например, у бесконтактных двигателей постоянного тока с дискретной коммутацией.

Однако указанные недостатки компенсируются качественно новыми свойствами в прецизионных системах на базе бесконтактного моментного электродвигателя. Достижения современной электроники позволяют обеспечить стабильный по углу поворота ротора электромагнитный момент при минимальных потерях в обмотке якоря, нечувствительный к малым отклонениям вектора магнитодвижущей силы от оптимального направления. Возможна компенсация несинусоидальности распределения магнитной индукции ротора индуктора вдоль зазора, а также ис-

пользование реактивной составляющей электромагнитного момента.

Для успешного применения моментного электродвигателя необходима идентификация параметров входных воздействий и самого привода. При линейном и колебательном движении цели слежения параметры воздействий оцениваются по сигналам в значительно отстоящие моменты времени, а параметры моментного электропривода допустимо оценивать градиентным методом. В связи с этим актуальной задачей является проведение работ по моделированию технических решений и установлению областей их практической применимости, а также разработке инженерных методик расчёта устройств и систем на базе моментного электродвигателя. На основании результатов моделирования могут быть внесены коррективы

в теоретические положения и общую методологию синтеза моментного электропривода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Моментный электропривод. Под ред. А.Ю.Афанасьева. Изд. Казанского ГТУ, 1997.
2. Бесконтактные моментные электродвигатели ДБМ. Справочник. Москва, ИП «Чертановская типография» Мосгорпечатать, 1992.
3. Бельный Ю.М., Зеленков Г.С., Микеров А.Г. Опыт разработки и применения бесконтактных моментных приводов. ЛДНТП, 1987.
4. Волков Н.И., Миловзоров В.П. Электромашинные устройства автоматики. Высшая школа, 1986.
5. Адволаткин Н.П., Граценков В.Т. и др. Управляемые бесконтактные двигатели постоянного тока. Энергоатомиздат, Ленинградское отд., 1984.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Технологии охлаждения чипов – в солнечной энергетике

Среди многочисленных направлений научно-исследовательской деятельности компания IBM не обошла вниманием и проблемы солнечной энергетике. В ходе анализа возможностей дальнейшего совершенствования фотовольтаических систем специалисты обратили внимание на один из аспектов, до сих пор являвшийся наиболее слабо прогрессирующим компонентом подобных электрогенераторов – на охлаждение преобразующих элементов.



Кроме повышения эффективности преобразования в самих фотовольтаических элементах, улучшить эффективность генераторов можно путём увеличения количества попадающего на них света, что достигается с помощью применения оптических концентрирующих систем (concentrator photovoltaic, CPV). Однако в этом случае резко увеличиваются требования к системе отвода тепла от преобразующих элементов, поскольку его избыток как минимум снижа-

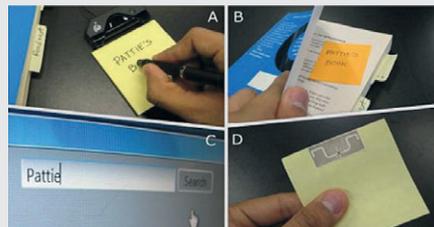
ет эффективность их работы, а как максимум – может привести к их полному выходу из строя и разрушению. Для организации эффективного охлаждения CPV компания IBM предложила использовать технологии с применением в качестве теплоносителей жидких металлов, что первоначально было разработано для отвода тепла в наиболее высокопроизводительных чипах.

Согласно приведённым сведениям, технология IBM позволит отводить 3/4 от общего количества тепла, обеспечивая сохранение работоспособности системы при работе со световым излучением, эквивалентным энергии «более чем тысячи солнц». Сама компания не намерена выпускать компоненты систем охлаждения для CPV, но будет продавать лицензии заинтересовавшимся производителям. Это не единственная разработка IBM в области солнечной энергетике, – известны также разработки компании в области технологии производства кремниевых фотовольтаических элементов на стеклянных подложках, а также применения элементов из области нанотехнологий для получения более эффективных преобразователей.

IBM

### Компьютерная бумага для записей

Специалисты Массачусетского технического института создали «умные наклейки». Это специальные листочки для записей, которые хитрым образом передают информацию, нанесённую на них, в



компьютер или другие электронные устройства. Несмотря на кажущуюся простоту, американский проект чрезвычайно сложен. В нём используются последние наработки в сфере искусственного интеллекта, радиочастотной идентификации, опознавания рукописного ввода.

Бумажка Quickie крепится на чувствительной поверхности, с помощью которой PC считывает и сохраняет записанную информацию. Это стало возможным благодаря использованию коммерчески доступной технологии цифрового пера. Доступ к данным обеспечивается с помощью специального программного обеспечения. Сначала записанное хранится в качестве изображения, а позже обрабатывается приложением и превращается в текст.

Используя Quickie, пользователь сможет не только перебирать свои заметки в электронном виде, но и осуществлять поиск по ключевым словам. Система умеет структурировать и сортировать контент, выделяя нужные напоминания о встречах и пр. С помощью этих наклеек можно даже вносить изменения в органайзер и синхронизировать с мобильными телефонами, ноутбуками.

www.tfot.info

# РЕШЕНИЯ ОТ КОМПАНИИ HARTING ДЛЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ETHERNET



Pushing Performance



- **HARTING** предлагает полную инфраструктуру промышленной Ethernet-сети: коммутаторы, соединители, кабели, кабельные сборки
- Все Ethernet-коммутаторы произведены в Германии со 100% выходным контролем
- Все изделия выполнены в металлических корпусах и полностью соответствуют общепромышленным стандартам, а также ряду отраслевых
- Высокая надежность: MTBF от 600 000 до 1 000 000 часов для различных серий коммутаторов

## РАЗЛИЧНЫЕ КОРПУСНЫЕ ИСПОЛНЕНИЯ:

- коммутаторы в литом корпусе со степенью защиты IP65/67 и температурой эксплуатации  $-40...+70^{\circ}\text{C}$
- стандартные шкафные решения с креплением на (DIN-рейку) и температурой эксплуатации от  $-10^{\circ}\text{C}$  (опционально от  $-40^{\circ}\text{C}$ )
- коммутаторы в корпусах, предназначенных для монтажа в 19" конструктив вертикально (высота 3U, ширина 1U, глубина 160 мм)

## УНИКАЛЬНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ОТДЕЛЬНЫХ СЕРИЙ:

- eCon 2000 – бюджетная серия компактных коммутаторов в металлическом корпусе. Температура эксплуатации  $-10...+70^{\circ}\text{C}$ . Яркий представитель серии eCon 2050-AA имеет 5 гигабитных портов
- sCon – конфигурируемые через USB-порт коммутаторы, обладающие многими функциями управляемых коммутаторов (например, резервированием типа «кольцо» или «параллельная линия»), при этом их цена остается на уровне неуправляемых коммутаторов
- mCon 1000 – серия управляемых коммутаторов, соответствующая стандарту IEC 61850 – возможно применение в энергетике, в том числе на подстанциях



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР HARTING В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

**PROSOFT**® АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА  
(495) 232-2522 • info@prochip.ru • www.prochip.ru • www.cree.ru