

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПЛАВНЫМ ХОДОМ НА НИЗКИХ ОБОРОТАХ

П.Г. Селин, И.А. Ремизов

АННОТАЦИЯ

Существуют различные электромагнитные двигатели переменного тока, которые состоят из статора и ротора. При пропускании через обмотки статора электрического тока создаётся вращающееся электромагнитное поле. Одним из главных достоинств нашего двигателя является плавность хода при низких оборотах. Она обеспечивается во всём интервале температур - от комнатной до гелиевых температур. Создание такого двигателя позволяет расширить рамки физических экспериментов при гелиевых температурах, где требуется малые обороты, но при этом необходима стабильность вращения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДВИГАТЕЛИ С ПЛАВНЫМ ХОДОМ, НИЗКООБОРОТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

ELECTROMAGNETIC AC MOTOR WITH SMOOTH RUNNING AT LOW SPEEDS

P.G. Selin, I.A. Remizov

ABSTRACT

There are various AC electromagnetic motors, which consist of a stator and a rotor. When electric current is passed through the stator windings, a rotating electromagnetic field is created. One of the main advantages of our engine is its smooth running at low speeds. It is provided over the entire temperature range - from room to helium temperatures. The creation of such an engine makes it possible to expand the scope of physical experiments at helium temperatures, where low speeds are required, but rotational stability is required.

KEYWORDS

SMOOTH RUNNING MOTORS, SLOW SPEED MOTORS, ELECTROMAGNETIC MOTOR

ВВЕДЕНИЕ

Известно достаточно много различных типов электромагнитных двигателей. Каждый из них имеет свои особенности. В лабораторных условиях иногда требуется плавный ход двигателя при низкой скорости вращения. Стандартные коллекторные и бесколлекторные двигатели имеют строго определённое количество полюсов, из-за чего нарушается плавность хода. К тому же обычные двигатели имеют большой стартовый ток, что не позволяет использовать их в низкотемпературных экспериментах.

ОПИСАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ

Двигатель (рис.1) состоит из медного диска 1, перпендикулярной ей оси 2, двух катушек, катушка 3 и катушка 4, магнит 5 для обеспечения равномерного вращения диска, сверху ось 2 центрирована проходным подшипником 6, а снизу сделана специальная канавка 7 для уменьшения трения. Для отслеживания скорости вращения медного диска 1

в нём проделано отверстие для обеспечения прохождения луча лазера через световоды 9. На выходе световода стоит фоторезистор 10, который через микроконтроллер 11 передаёт данные на компьютер 12. Также имеется возможность с помощью программы, реализованной на компьютере, корректировать силу переменного тока и его фазу, посылаемые на катушки 3 и 4 с помощью ЦАП 13 и усилители сигнала 14 (рис. 2).

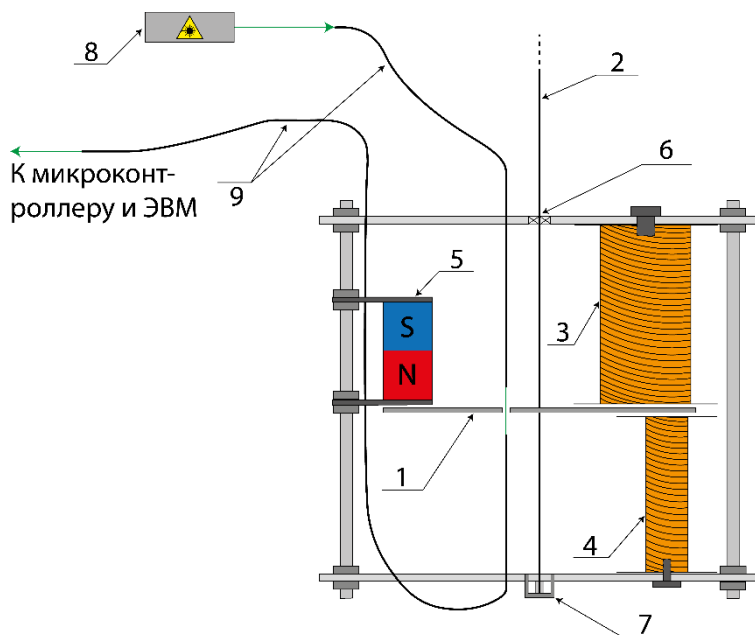


Рис.1. Схема двигателя: 1 – медный диск, 2 – перпендикулярная диску ось, 3 – первая катушка, 4 – вторая катушка, 5 – постоянный магнит, 6 – проходной подшипник, 7 – канавка, 8 – лазер, 9 – световоды.

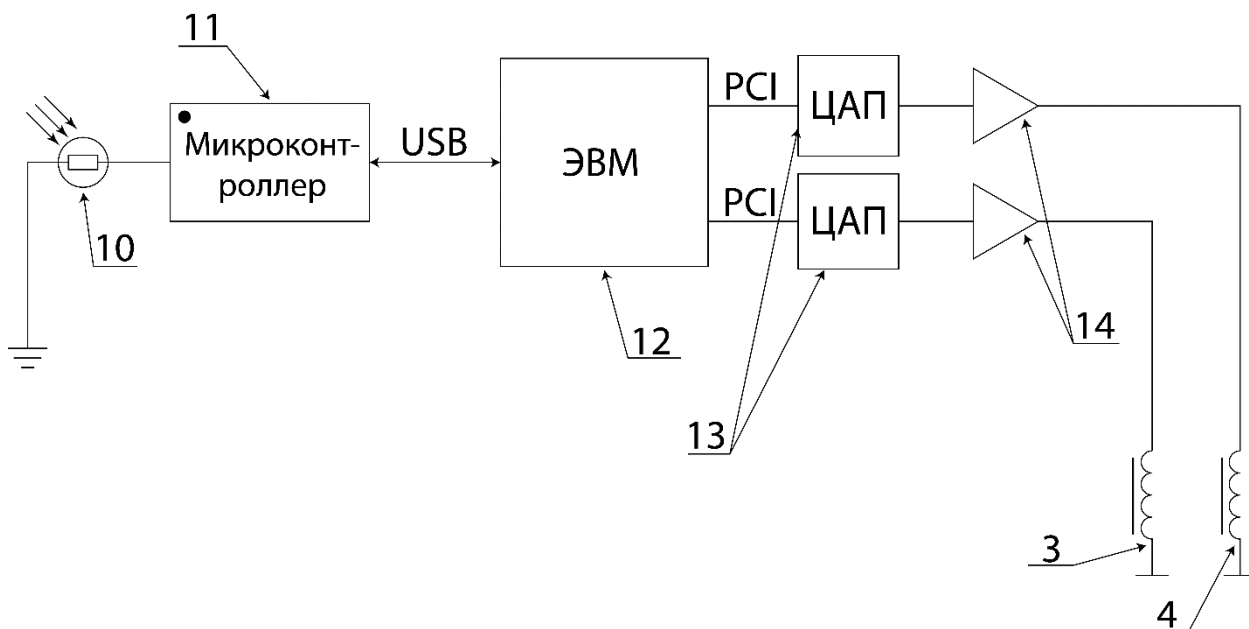


Рис. 2. Схема передачи сигнала с фоторезистора 10 на компьютер 12 через микроконтроллер 11, и дальнейшая передача сигнала для корректировки с помощью передачи команды на ЦАП 13 и дальнейшая передача сигнала через усилители 14 на катушки 3 и 4

ПРИНЦИП РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

Работу электромагнитного двигателя можно описать следующим образом.

В начальном состоянии плоский диск 1, жестко закреплен на вертикальной оси 2, и система находится в состоянии равновесия. При пропускании переменного электрического тока через катушки 3 и 4 в них возникает переменное магнитное поле. При разности фаз между токами 90° наблюдается максимальный закручивающий диск 1 момент силы. Работа внешних источников переменного тока контролируется ЭВМ 12 которая управляет работой двигателя. В диске 1 возникают магнитные потоки, что является следствием возникновения в диске 1 индукционных токов. Наведённые токи имеют разность фаз в катушках 3 и 4 90° . Известно, взаимодействующие между собой токи с одинаковой фазой притягиваются, а противоположные – отталкиваются, что приводит к вращению диска 1. Магнитный момент, действующий на диск 1 пропорционален произведению токов, протекающих через катушки 3 и 4, и равен $M_{Вр} \sim I_1 \cdot I_2$. Для избегания различного рода биений и обеспечения равномерности вращения диска 1, в конструкцию двигателя добавляется магнитный демпфер (см. рис.2) - постоянный магнит 5, который при вращении диска 1 наводит в нем собственные токи, что способствует плавному вращению диска 1. При взаимодействии с полем постоянного магнита 5, эти токи постоянного магнита создают тормозящий момент, направленный противоположно вращению диска, $M_{Торм}$, величина которого пропорциональна скорости вращения диска 1, $M_{Торм} \sim \omega$. Когда магнитный момент вращения $M_{Вр}$ сравнивается по величине с тормозящим моментом, диск 1 начинает вращение с постоянной скоростью. Таким образом, угловая скорость вращения диска 1 оказывается пропорциональной произведению токов, проходящих через обмотки катушек $\omega \sim I_1 \cdot I_2$. Диск 1 жестко крепится на вертикальной оси 2, которая сверху закреплена в центре опорного подшипника 6, а снизу заостренным концом опирается на плоскую металлическую поверхность в канавке на опорной пластине 7.

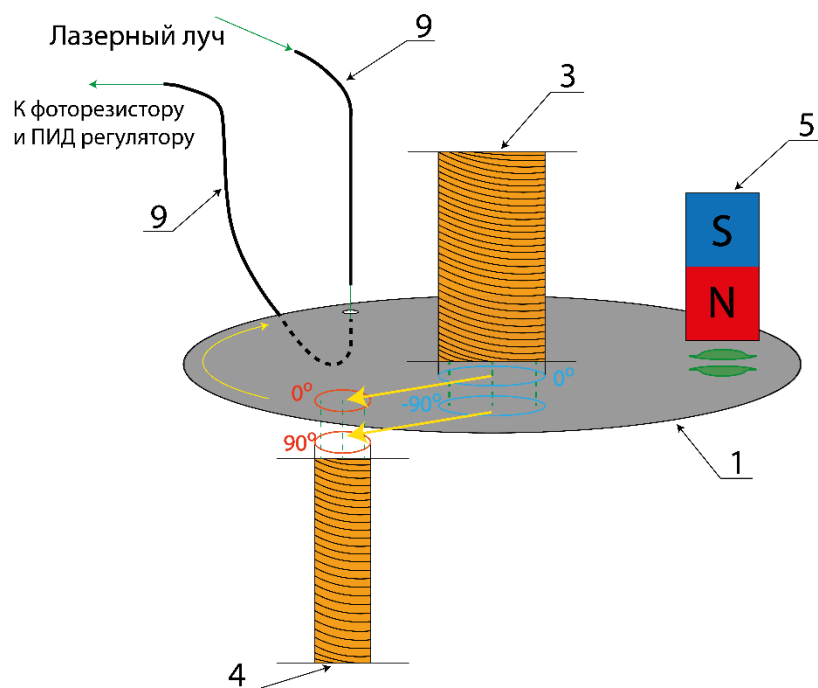


Рис. 3. Схема взаимодействия токов, возникающих в диске 1 (закреплённой перпендикулярно на оси 2) и в катушках 3 и 4, и стрелки, указывающие направление притяжения токов. Зелёными «подушечками» показано наведение токов Фуко при помощи постоянного магнита 5, необходимое для равномерного вращения диска.

Для обеспечения равномерного вращения диска 1 необходимо собрать схему обратной связи, которая, в простейшем случае, будет состоять из микроконтроллера 11, ЭВМ 12 и программируемого ПИД-регулятора, цифро-аналоговых преобразователей 13 и усилителей сигнала 14. Для контроля за скоростью вращения диска 1 используется оптическая система, состоящая из двух световодов 9. Луч лазера 8 проходит через небольшое отверстие на краю диска, на выходе нижнего световода установлен фоторезистор 9, который реагирует на изменение мощности приходящего светового пучка. Выходной сигнал с фоторезистора обрабатывается микроконтроллером 11. Мощность сигнала, поступающего на ЭВМ с выхода микроконтроллера, зависит от скорости вращения диска, и ПИД-регулятор подстраивает силу тока в катушках 3 и 4 для выравнивания скорости вращения диска 1. Подстраивая параметры ПИД-регулятора через ЭВМ 11, можно легко регулировать изменение скорости вращения диска 1 в режиме реального времени, а также поддерживать стабильную скорость вращения и плавность хода диска 1. Подшипник 6, в центре которого закреплена ось 2, обеспечивает жёсткое сцепление оси с верхней неподвижной опорой двигателя, что способствует подавлению люфта при вращении вертикальной оси 2. На нижней опоре сделана канавка, в которую входит заострённый нижний конец оси. Диаметр канавки близок к диаметру оси, что сводит к минимуму перемещение нижней части оси (люфт) по горизонтали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было предложено решение двигателя, работающего на переменном токе, отличительной особенностью которого является возможность совершать плавные обороты даже при низких скоростях вращения.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №23-72-30006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев И.И. – Асинхронные двигатели в трёхфазном и однофазном режимах – 2004 – РадиоСофт, Москва;
2. Минин Г.П. Измерение электроэнергии – 1974 – Библиотека электромонтёра – Вып. 394 – «Энергия», Москва;
3. Труб И.И. Обслуживание индукционных счётчиков и цепей учёта в электроустановках – 1983 – Библиотека электромонтёра – Вып. 553 – Энергоатомиздат, Москва;
4. Денисенко В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации – 2006 – В записную книжку инженера – Вып. 4 – СТА;

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Селин Петр Геннадьевич – м.н.с., аспирант (ORCID: 0000-0001-9466-3080). Институт физики твёрдого тела им. Ю.А. Осипяна РАН, Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: selin@issp.ac.ru

Ремизов Игорь Андреевич – кандидат физических наук. Институт физики твёрдого тела им. Ю.А. Осипяна РАН, Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: remizov@issp.ac.ru