

УДК 681.518.5: 621.318.3

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ  
ПРИВОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ СИЛОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**

*Бочкарев Игорь Викторович, д.т.н., профессор, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: [elmech@mail.ru](mailto:elmech@mail.ru)*

*Галбаев Жалалидин Токтобаевич, д.т.н., профессор, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: [jalal1603@mail.ru](mailto:jalal1603@mail.ru)*

*Гунина Милана Геннадьевна, к.т.н., доцент, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: [mg\\_gunina@mail.ru](mailto:mg_gunina@mail.ru)*

**Аннотация.** Рассмотрены способы и устройства контроля приводных электромагнитов силовых механизмов. Проведен их сравнительный анализ и показаны основные недостатки. Описана разработанная система бесконтактного контроля, позволяющая осуществлять контроль положения якоря электромагнита непосредственно сразу после подключения обмотки приводного электромагнита к источнику питания. Данная система обеспечивает контроль за всеми обязательными условиями нормальной работы СЭМ и при невыполнении хотя бы одного из них производит отключение оборудования от источника питания, не позволяя ему работать в аварийных режимах.

**Ключевые слова:** силовые электромагнитные механизмы, электромагнит, магнитопровод, якорь, система бесконтактного контроля положения якоря, магнитодиод.

**DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF CONTROL OF DRIVE  
ELECTROMAGNETS OF POWER MECHANISMS**

*Bochkarev Igor Viktorovich, doctor of technical sciences, professor, KSTU named after I.Razzakov, 720044, Kyrgyzstan, Bishkek, Ch.Aitmatov av. 66, e-mail: [elmech@mail.ru](mailto:elmech@mail.ru).*

*Galbaev Zhalalidin Toktobaevich, doctor of technical sciences, professor, KSTU named after I.Razzakov, 720044, Kyrgyzstan, Bishkek, Ch.Aitmatov av. 66, e-mail: [jalal1603@mail.ru](mailto:jalal1603@mail.ru)*

*Gunina Milana Gennadevna, Ph.D., assistant professor, KSTU I.Razzakova, 720044, Bishkek, Pr. Ch. Aitmatov, 66, e-mail: [mg\\_gunina@mail.ru](mailto:mg_gunina@mail.ru)*

**Abstract.** Methods and devices for contactless control of drive electromagnets of power mechanisms are considered. A comparative analysis of them and the main disadvantages are shown. The developed contactless control system is described, which allows to monitor the position of the armature of the EMS immediately after connecting the drive electromagnet winding to the power source. This system, if one of the mandatory conditions for normal operation of the PEM is not fulfilled, will disconnect the equipment from the power source, preventing it from operating in emergency conditions.

**Keywords:** power electromagnetic mechanisms, an electromagnet, a magnetic core, an anchor, an anchor contactless monitoring system, a magnetic diode.

**Введение.** Силовые электромагнитные механизмы (СЭМ) находят широкое применение в различных технических устройствах, используемых практически во всех сферах деятельности человека – в промышленности, транспорте, сельском хозяйстве, быту.

СЭМ имеют огромное количество разнообразных конструкций и назначений, но при этом имеют однотипный электромагнитный привод в виде силового приводного электромагнита, обеспечивающего дистанционное управление режимом работы СЭМ [1,2]. Такой электромагнит содержит магнитопровод с обмоткой и подпружиненный подвижный якорь. Электромагниты могут иметь различные конструктивные исполнения и отличаться значениями тяговых усилий и величинами перемещений якоря. Характер движения якоря определяет функциональные возможности СЭМ. При этом в СЭМ чаще применяются электромагниты с цилиндрическим магнитопроводом и прямоходовым перемещением якоря. На рис. 1 показаны разновидности конструкций силовых электромагнитов.

При подаче напряжения на обмотку электромагнита по ней начинает протекать ток, который создает магнитный поток. Под действием этого потока якорь, преодолевая сопротивление пружин, начинает притягиваться к магнитопроводу и перемещается в пределах рабочего зазора  $\delta$ . При снятии напряжения якорь возвращается в исходное состояние под действием усилия пружин. Магнитный поток, замыкающийся через рабочий зазор, называется основным, а потоки, замыкающиеся вне рабочего зазора, представляют собой потоки рассеяния.

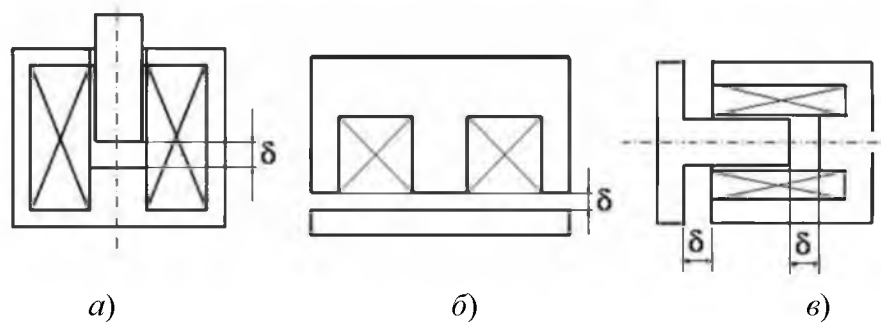


Рис. 1. Разновидности конструкций силовых электромагнитов:  
 а) – с втяжным якорем; б) – с внешним притягиваемым якорем;  
 в) – с комбинированным якорем

В сущности, приводной электромагнит является исполнительным органом и образует основу рабочей системы СЭМ, в которой непосредственно выполняется преобразование электрической энергии в механическую посредством магнитного поля. Например, в электромагнитных муфтах он регулирует положение подвижной полумуфты, в электромеханических тормозных устройствах состояние фрикционного узла, в запорной арматуре – текущее положение запорного или распределительного клапана, в системе дымоудаления – положение заслонки вентиляционного канала [3, 4, 5]. Очевидно, что для выполнения своих функций в большинстве случаев требуется переходное звено для передачи механической мощности от якоря к рабочему органу СЭМ. В частности, в электромагнитных клапанах это шток, соединенный одним концом с якорем, а другим – с запорным органом. Но в любом случае рабочее состояние СЭМ определяется положением якоря относительно магнитопровода.

**Постановка задачи.** При эксплуатации технических устройств, содержащих СЭМ, требуется постоянная информация в режиме реального времени о том, соответствует ли состояние входящих в их состав СЭМ требуемому по условиям эксплуатации режиму работы. Если этот режим нарушен, то устройство не сможет выполнить свое функциональное назначение, а безопасность работы обслуживающего персонала резко снизится. Таким образом, очевидно, что в процессе эксплуатации СЭМ необходимо контролировать его состояние.

**Результаты работы.** В настоящее время на практике используются системы косвенной диагностики СЭМ, принцип которых заключается в использовании специфических свойств электромагнита. Например, устройство контроля может регистрировать факт движения якоря (как при подаче напряжения, так и при его снятии) по возникновению в этом случае характерного провала в кривой тока. Для этого выделяют переменную составляющую тока и преобразуют её в прямоугольные импульсы, по количеству которых и определяется факт срабатывания [6]. Однако контроль таким способом можно использовать только для оценки поведения СЭМ в переходных режимах работы, а его установившееся текущее состояние диагностировать нельзя.

Для регистрации положение якоря в установившемся режиме было предложено бесконтактные устройства контроля, которое использует особенности СЭМ, содержащих в своей конструкции постоянные магниты [7]. Контроль положения якоря осуществляется по изменению потока рассеяния постоянного магнита, зависящего от величины рабочего воздушного зазора  $\delta$  между якорем и магнитопроводом. Для этого используется магнитоуправляемый элемент 1, например, геркон, расположенный в зоне поля рассеяния постоянного магнита [6]. Однако данное устройство не может быть использовано для диагностики пружинных СЭМ и, кроме того, не позволяет произвести контроль за положением якоря непосредственно в начальный момент подключения питания к СЭМ. Тем самым, если осуществлялось ручное управление положением якоря с его фиксацией, например, в положении при  $\delta = 0$ , после снятия напряжения с обмотки электромагнита СЭМ якорь останется в том же положении, что приведет к аварийной ситуации.

Для ликвидации этого недостатка была разработана система бесконтактного контроля, позволяющая осуществлять контроль положения якоря СЭМ непосредственно сразу после подключения обмотки приводного электромагнита к источнику питания. Для наглядности на рис.2 приведена принципиальная электрическая схема включения электродвигателя, снабженного СЭМ в виде электромеханического тормоза.

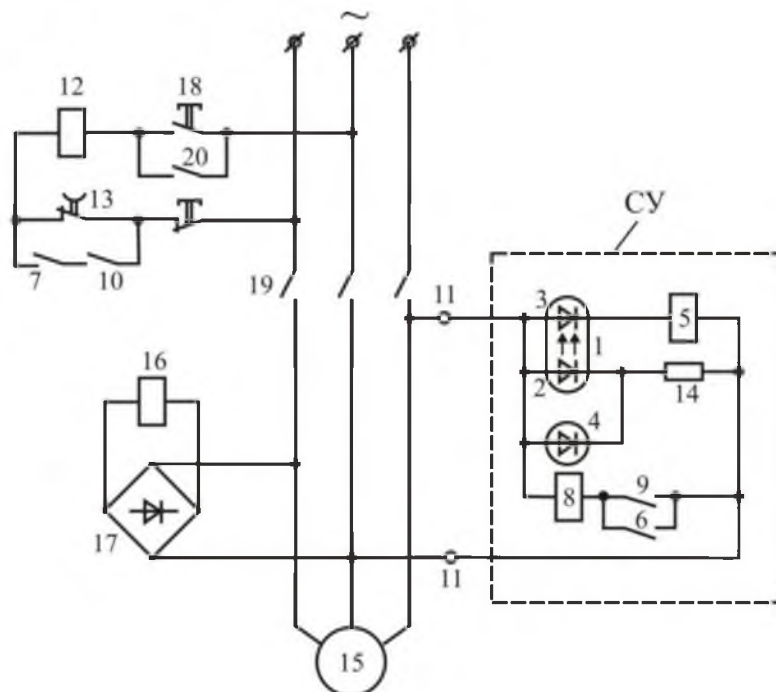


Рис.2. Принципиальная электрическая схема управления электродвигателем со встроенным электромеханическим тормозом, содержащая устройство бесконтактного контроля режима работы тормоза

В систему управления СУ входит управляемый ключ 1, магнитоуправляемый элемент в виде магнитодиода 4, реле сигнализации 5, дополнительное реле 8, выводы 11 для подключения источника питания, контактор 12, размыкающий ключ 13 с замедлением при срабатывании и резистор 14. Магнитодиод 4 расположен в непосредственной близости от рабочего воздушного зазора между якорем и магнитопроводом с возможностью срабатывания от потоков выпучивания и рассеяния. Управляемый ключ выполнен в виде оптрона. Входная цепь оптрона выполнена в виде фотодиода 2, а выходная цепь – в виде светодиода 3. Реле сигнализации 5 имеет замыкающий 6 и размыкающий 7 контакты, а дополнительное реле 8 – замыкающие контакты 9 и 10.

Обмотка 16 приводного электромагнита тормоза подключена к источнику питания через мостовой выпрямитель 17.

Схема управления электродвигателем 15 содержит кнопочный выключатель 18 для включения контактора 12. При замыкании выключателя 18 размыкающий ключ 13 находится в замкнутом состоянии и по обмотке контактора 12 протекает ток. Контактор 12 срабатывает и замыкает свои контакты 19 и 29. Тем самым, электродвигатель 15 и обмотка 16 тормоза подключаются к источнику питания. Одновременно подается напряжение и на выводы 11 устройства контроля. Обмотка 16 тормоза создает магнитный поток и, если тормоз замкнут, т.е. между якорем и магнитопроводом есть воздушный зазор, то через магнитодиод 4 проходят потоки выпучивания. За счет этого сопротивление магнитодиода 4 увеличивается и он не шунтирует светодиод 2 оптрона 1. По светодиоду 2 протекает ток, в результате чего светоправляемая часть оптрона 1 - фотодиод 3 открывается и на обмотку реле сигнализации 5 подается напряжение. При этом контакт 7 размыкается, а контакт 6 замыкается и обмотка дополнительного реле 8 подключается к источнику питания. Тем самым, контакты 9 и 10 реле 8 замыкаются. После притяжения якоря к магнитопроводу воздушный зазор между ними исчезает, потоки выпучивания резко уменьшаются, и сопротивление магнитодиода 4 также уменьшается. Он шунтирует светодиод 2, ток в цепи последнего уменьшается и фотодиод 3 закрывается, разрывая цепь питания обмотки реле сигнализации 5. Контакт 6 размыкается, а контакт 7 замыкается. При этом, поскольку контакт 9 замкнут, обмотка дополнительного реле 8 остается под напряжением и, соответственно, контакт 10 остается замкнутым.

По истечении заданного времени задержки, которое обеспечивается большим, чем время для размыкания тормоза, размыкающий ключ 13 размыкается, но поскольку он зашунтирован замкнутыми контактами 7 и 10 обмотка контактора 12 остается под напряжением и электродвигатель остается подключенным к источнику питания.

Если по каким-нибудь причинам тормоз не разомкнулся, т.е. между якорем и магнитопроводом остался воздушный зазор, то фотодиод 3 продолжает оставаться открытым и, соответственно, обмотка реле 5 остается под напряжением. Тогда после размыкания ключа 13 цепь обмотки контактора 12 разрывается, поскольку контакт 7 реле 5 разомкнут, и электродвигатель отключается от источника питания. Аналогично, отключение электродвигателя будет осуществляться и в том случае, если в процессе нормальной эксплуатации тормоз вследствие какой-либо причины, например, внезапного обрыва цепи питания обмотки 16, аварийно замкнется. Обмотка реле 5 окажется в этом случае под напряжением и контакт 7 разомкнется, разрывая цепь питания контактора 12.

В том случае, если к источнику питания ошибочно подключен электродвигатель с разомкнутым тормозом, например, разомкнутым вручную, то вследствие незначительного потока выпучивания сопротивление магнитодиода небольшое и он шунтирует светодиод 2. Таким образом, фотодиод закрыт и по обмотке реле 5 ток не протекает. За счет этого его контакт 6 остается открытым и обмотка реле 8 к питанию не подключается. Следовательно, контакт 10 открыт и по истечении заданного времени замедления ключ 13 разорвет цепь обмотки контактора 12 и электродвигатель отключится от источника питания.

Таким образом, описанное устройство обеспечивает контроль за положением якоря СЭМ при включенной обмотке управляющего электромагнита. При снятии напряжения с этой

обмотки контроль прекращается, поскольку исчезает магнитный поток, одна из составляющих которого и является непосредственно регистрируемой величиной (т.е. аналоговым сигналом положения якоря).

Проверка работоспособности и эффективности предложенной системы контроля силовых электромагнитных устройств была проведена с использованием серийных электромеханических тормозов, встроенных в высокомоментные электродвигатели типа ВЭМ-2, предназначенные для привода подачи шпиндельной бабки многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков ОЦФ-1М с ЧПУ.

Проведенные экспериментальные исследования предложенной системы контроля показали ее работоспособность и высокую достоверность диагностики СЭМ в процессе его эксплуатации.

#### **Выводы.**

1. Предложенная система бесконтактного контроля приводных электромагнитов СЭМ является универсальной и может быть использована для диагностики электромеханических систем, содержащих различные типы СЭМ.

2. Предложенная система контроля эксплуатационного состояния СЭМ имеет простую схемотехническую реализацию и позволяет эффективно осуществлять оперативный бесконтактный контроль как для СЭМ с переменными, так и с постоянными источниками напряжения питания.

3. Разработанная система бесконтактного контроля приводных электромагнитов СЭМ при невыполнении хотя бы одного из обязательных условий нормальной работы отключит электродвигатель от источника питания, не позволяя ему работать в аварийных режимах. К таким аварийным режимам приводных электромагнитов СЭМ относятся следующие:

- якорь электромагнита после подачи напряжения не изменил своего положения;
- якорь в процессе установившейся работы внезапно изменил свое положения, резко изменив тем самым режим работы СЭМ
- включение СЭМ ошибочно начато с уже перемещенным вручную якорем;
- произведено аварийное подключение СЭМ с неисправным приводным

электромагнитом, когда произошло заклинивание якоря, поломки или заедания силовых пружин и т.п.

4. Разработанная система бесконтактного контроля приводных электромагнитов может быть использована не только для диагностики силовых ЭМ, но и для контроля коммутационных электромагнитных механизмов, таких как электромагнитные реле, магнитные пускатели, выключатели и т.д.

#### **Литература**

1. Белов М.П. Технические средства автоматизации и управления. – СПб: СЗТУ, 2006. – 184 с.
2. Казаков Л.А. Электромагнитные устройства РЭА: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 352 с.
3. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. – Л.: Политехника, 1991. – 384с.
4. Тормозные устройства: Справочник. / Александров М.П., Лысяков А.Г., Федосеев В.Н., Новожилов И.В.: Под общ. ред. Александрова М.П. – М.: Машиностроение, 1985. – 312с.
5. Гуревич Д.Ф., Шпаков О.Н. Справочник конструктора трубопроводной арматуры. – Л.: Машиностроение, 1987. – 518 с.
6. Бочкарев И.В., Галбаев Ж.Т. Разработка и исследование бесконтактного устройства контроля состояния фрикционных электромеханических устройств // Известия КГТУ, 2016, № 3 (39), часть II. – С. 96-101.
7. Бочкарев И.В., Галбаев Ж.Т. Быстродействующие электромагнитные механизмы с постоянными магнитами для систем автоматики. – Бишкек: Илим, 2008. – 275 с.