

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМИ МАГНИТАМИ

П.В. Рубцов

petya.rubtsoff@yandex.ru

А.В. Новак

novakav2201@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен вопрос актуальности пропорциональных элементов гидравлической номенклатуры порционных электромагнитов в современном машиностроении. Проанализированы существующие решения в области управления пропорциональными элементами в гидросистеме. Выявлены преимущества и недостатки пропорциональных устройств при использовании источников движения различных типов. Описаны проблемы наличия электромагнитного гистерезиса с точки зрения системы управления устройством. Рассмотрены различные варианты уменьшения влияния нелинейности на работу устройства. Предложена методика по нивелированию влияния электромагнитного гистерезиса и повышению качества переходных процессов гидравлических пропорциональных элементов. Рассмотрена возможность практической реализации предложенной методики. Сделаны выводы о возможных проблемах применения предложенного метода и предложены пути их устранения.

Ключевые слова

Гидравлика, гидропривод, пропорциональный электромагнит, система управления, электромагнитный гистерезис, пропорциональное управление, датчик Холла, магнитное поле

Поступила в редакцию 21.10.2022

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Введение. Номенклатура гидравлических элементов включает в себя огромное количество различных устройств и их исполнений. В машиностроительной гидравлике, в частности, в производстве транспортных средств, часто используется пропорциональная техника для регулирования основных процессов в гидроприводе [1, 2]. Пропорциональное управление элементами открывает более широкие возможности для машин, при этом улучшает их работу [3]. Для реализации пропорциональных элементов могут быть использованы различные источники движения — как ручные (управляются непосредственно оператором), так и автоматические.

Постановка задач. Были поставлены следующие задачи:

- 1) рассмотреть различные варианты источников движения для пропорциональных элементов;
- 2) описать проблемы работы с электромагнитным гистерезисом;
- 3) предложить методику по снижению влияния нелинейности на систему управления;

4) рассмотреть вариант практической реализации решения и возможные проблемы.

Рассмотрение источников движения. В последнее время ручные приводы применяются все меньше, и на первый план выходят именно автоматические приводы. Они, в свою очередь, могут быть реализованы как стандартный электро-механический привод, пьезопривод, пропорциональный электромагнит или поток жидкости под давлением.

В настоящее время наиболее широко распространен вариант использования пропорциональных электромагнитов. Это обусловлено высокой динамикой работы магнита, а также приемлемой силой, которую способен развить электромагнит заданных габаритов. Пьезоприводы обладают недостаточным ходом, из-за чего необходимо применять дополнительные передачи. Электроприводы не обладают необходимой динамикой [4], хотя способны развить необходимую нагрузку. Ручные приводы не подходят для автоматических систем, а также могут обладать большим сухим трением.

Электромагнитный гистерезис. Одной из главных проблем в управлении пропорциональным магнитом является электромагнитный гистерезис [5, 6]. Это нелинейность, вызванная остаточной намагниченностью [7]. Другими словами, процессы намагничивания и размагничивания будут отличаться друг от друга. Такие зависимости обычно описывают петлями гистерезиса (рис. 1).

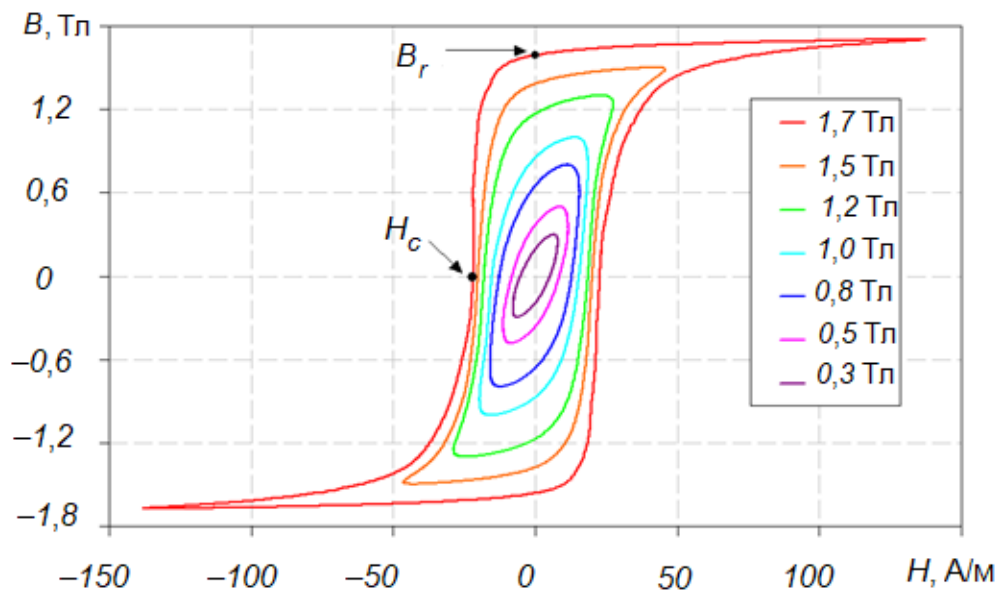


Рис. 1. Семейство петель гистерезиса

На рисунке можно увидеть кривую, представленную в координатах $B(H)$, где B — магнитная индукция, Тл; H — напряженность магнитного поля, А/м.

H_c — коэрцитивная сила, B_r — индукция насыщения. Эта нелинейность характерна тем, что при одном и том же H значение B будет определяться предыдущим значением. Другими словами, в зависимости от состояния системы при одном и том же H система будет иметь различную намагниченность [8]. Любая нелинейность усложняет проектирование системы управления, а также ухудшает качество ее работы.

Методы уменьшения гистерезиса. В большинстве случаев для уменьшения гистерезиса применяют технологические операции, другими словами, стараются изготовить магнит с учетом конкретных условий работы, используя порошковое спекание и магнитомягкие материалы [9]. Однако таким образом невозможно полностью устранить нелинейность, к тому же эти методы действительны только на этапе производства. Далее уменьшать сам гистерезис не представляется возможным, однако можно уменьшать его влияние.

Уменьшение влияния электромагнитного гистерезиса на систему управления. Для этого предлагается использовать алгоритм корректировки значения управляющего сигнала с датчика положения. Идея алгоритма заключается в использовании информации о текущей намагниченности магнита и напряженности поля. Также для функционирования алгоритма необходимо знать две характеристики магнита — зависимость силы от перемещения при заданных токах, а также зависимость $B(H)$ для заданных токов [10]. На основании всех этих данных будет можно построить алгоритм, минимизирующий воздействие гистерезиса на систему управления, а именно улучшающий качество переходных процессов.

Логика алгоритма заключается в следующем: при необходимости выполнить переброску ходового элемента магнита в новое положение, система считывает значение с датчика магнитного поля, который показывает текущее значение B . После этого система считывает текущее значение напряженности поля. Из уравнения Максвелла следует, что

$$M = B - H.$$

На основании полученных ранее данных можно вычислить текущее значение намагниченности M . Зная требуемое текущее значение силы, можно рассчитать необходимую намагниченность магнита. Значение силы определяется по зависимости силы от перемещения. По разнице намагниченностей видно, насколько нужно изменить текущую намагниченность. Зависимости $B(H)$ показывают, как магнит будет намагничиваться и размагничиваться. На основании этого алгоритм сформирует подходящий управляющий сигнал, чтобы максимально быстро переместить управляемый орган в заданное положение. Структурная схема описываемой системы приведена на рис. 2.

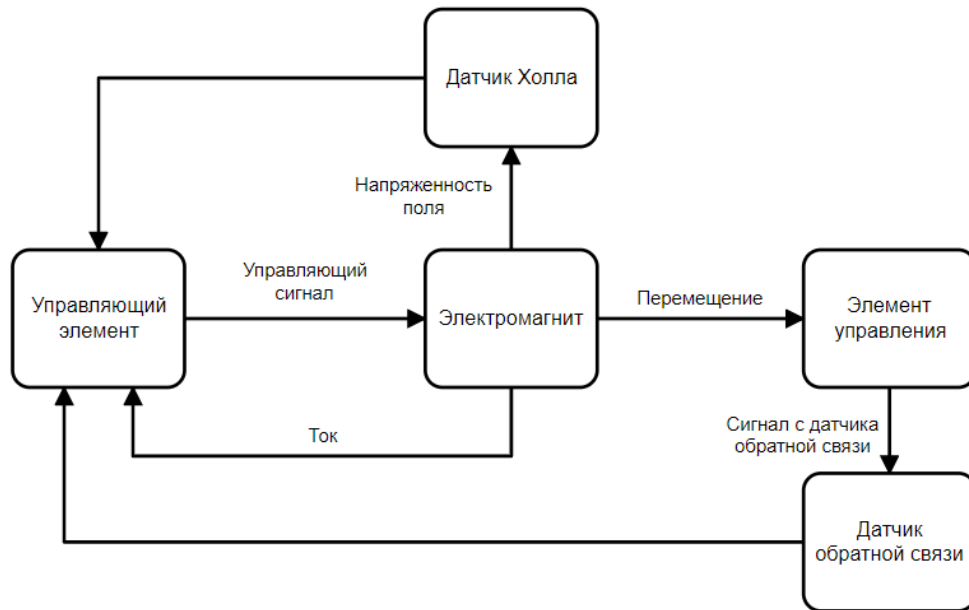


Рис. 2. Структура системы

Практическая реализация. Для практической реализации данного алгоритма необходимо знать значения магнитной индукции и напряженности магнитного поля [11]. Для измерения магнитной индукции лучше всего подойдет датчик Холла — это простое и дешевое устройство, которые легко встроить в пропорциональный магнит. Для измерения напряженности магнитного поля можно использовать эрстедметр, но это дорогостоящее устройство, поэтому лучше измерять силу тока и на ее основании рассчитывать текущее значение напряженности. Необходимые характеристики магнита могут быть предоставлены производителем или же сняты с помощью элементарных стендов. Все данные должны быть заложены в функцию, которая позволит рассчитывать последующее изменение намагниченности и на выходе предоставлять скорректированный управляющий сигнал.

Таким образом можно будет повысить быстродействие переходных процессов и исключить колебательность системы.

Возможные проблемы. Основная проблема, которая может возникнуть при реализации данного алгоритма, — неточность в измерении напряженности магнитного поля. Повысить точность можно многократными измерениями и обработкой данных методом квадратов, однако это приведет к снижению быстродействия. Другое решение данной проблемы — использование метода комплексования, позволяющего повысить точность без увеличения длительности работы алгоритма. С физической точки зрения комплексование характеризуется увеличением числа датчиков.

Еще одна возможная проблема — невысокая скорость работы алгоритма. Если функция вычисления нового управляющего сигнала окажется слишком сложной, то ее вычисление будет занимать слишком много времени, вследствие чего быстродействие снизится, тем самым пропадет основное преимущество электромагнитов перед электроприводами.

Заключение. В результате рассмотрения различных вариантов реализации пропорционального управления выделены наиболее перспективные варианты. Описаны проблемы работы с электромагнитным гистерезисом. Предложена методика снижения влияния нелинейности на работу устройства. Рассмотрены варианты практической реализации предложенного решения.

Литература

- [1] Котеленец Н.Ф., Акимова Н.А., Антонов М.В. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин. М., Академия, 2003.
- [2] Иванов Г.М., Свешников В.К., Орлик И.В. Цифровая электрогидравлическая автоматика нового поколения. *Гидравлика и пневматика*, 2006, № 21, с. 3–8.
- [3] Абдурасулов Б.Б. Применение гидропривода в машинах и оборудовании для добычи нефти и газа. *Modern Science*, 2020, № 8-1, с. 318–321.
- [4] Соловьев В.А., Васильченко С.А., Гнедин П.А. Улучшение динамических характеристик контура тока электропривода путем нелинейной силовой коррекции. *Современные технологии в области энергоснабжения и автоматизации автономных объектов. Сб. док. науч.-практ. конф.* СПб., ВИСУ, 2006, с. 33–43.
- [5] Козлов Н.П., Крассов И.М. Электромагнитные пропорциональные управляющие элементы. М.-Л., Энергия, 1966.
- [6] Наземцев А.С. Гидравлические и пневматические системы. Ч. 2. Гидравлические приводы и системы. М., Форум, 2007.
- [7] Маслов Ю.Н., Крохин В.В., Хмарук О.Н. Аппроксимация предельных петель гистерезиса магнитомягких материалов трансцендентными функциями. Львов, Теоретическая электротехника, 1985.
- [8] Ковалев А.В., Карпов В.А., Литвинов Д.А. и др. Анализ влияния гистерезиса пропорционального электромагнита на погрешность пескосолераспределения комбинированной дорожной машины в автоматическом режиме. *Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого*, 2015, № 1, с. 58–64.
- [9] Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты. М., Энергия, 1972.
- [10] Ковалев О.Ф. Комбинированные методы моделирования магнитных полей в электромагнитных устройствах. Ростов-на-Дону, Изд-во СКНЦ ВШ, 2001.
- [11] Матюк В.Ф., Осипов А.А. Математические модели кривой намагничивания и петель магнитного гистерезиса. Часть I. Анализ. *Неразрушающий контроль и диагностика*, 2011, № 2, с. 3–35.

Рубцов Петр Васильевич — студент магистратуры кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Новак Александр Вадимович — студент магистратуры кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Калинин Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Рубцов П.В., Новак А.В. Проблемы управления пропорциональными магнитами. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 10(75).

<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-10-834>

PROBLEMS OF PROPORTIONAL MAGNET CONTROL

P.V. Rubtsov

A.V. Novak

petya.rubtsoff@yandex.ru

novakav2201@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article considers the issue of relevance of proportional elements of hydraulic nomenclature in modern mechanical engineering. Existing solutions in the field of proportional elements control in the hydraulic system are analyzed. Advantages and disadvantages of proportional devices when using different types of motion sources are revealed. The problems of electromagnetic hysteresis presence from the point of view of the device control system are described. Various options for reducing the effect of nonlinearity on the operation of the device are considered. A method for leveling the effect of electromagnetic hysteresis and improving the quality of transients of hydraulic proportional elements is proposed. The possibility of practical implementation of the proposed method is considered. The conclusions about the possible problems of application of the proposed method are made and the ways of their elimination are proposed.

Keywords

Hydraulics, hydraulic drive, proportional electromagnet, control system, electromagnetic hysteresis, proportional control, Hall sensor, magnetic field

Received 21.10.2022

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

References

- [1] Kotelenets N.F., Akimova N.A., Antonov M.V. Ispytaniya, ekspluatatsiya i remont elektricheskikh mashin [Tests, exploitation and repair of electric machines]. Moscow, Akademiya Publ., 2003 (in Russ.).
- [2] Ivanov G.M., Sveshnikov V.K., Orlik I.V. Digital electrohydraulic automatics of new generation. *Gidravlika i pnevmatika*, 2006, no. 21, pp. 3–8 (in Russ.).
- [3] Abdurasulov B.B. Using hydraulic drive in machines and equipment for oil and gas production. *Modern Science*, 2020, no. 8-1, pp. 318–321 (in Russ.).
- [4] Solovyev V.A., Vasilchenko S.A., Gnedin P.A. [Improving dynamic characteristics of the electric drive current loop by non-linear power correction]. *Sovremennye tekhnologii v oblasti energosnabzheniya i avtomatizatsii avtonomnykh obektov. Sb. dok. nauch.-prakt. konf.* [Modern technologies in Power Supply and Automation of Autonomous Objects. Proc. Sci.-Pract. Conf.]. Sankt-Petersburg, VISU Publ., 2006, pp. 33–43 (in Russ.).
- [5] Kozlov N.P., Krassov I.M. Elektromagnitnye proporsionalnye upravlyayushchie elementy [Electromagnetic proportioning control elements]. Moscow-Leningrad, Energiya Publ., 1966 (in Russ.).
- [6] Nazemtsev A.S. *Gidravlicheskie i pnevmaticheskie sistemy. Ch. 2. Hidravlicheskie privody i sistemy* [Hydraulic and pneumatic systems. P. 2. Hydraulic drives and systems]. Moscow, Forum Publ., 2007 (in Russ.).

- [7] Maslov Yu.N., Krokhin V.V., Khmaruk O.N. *Approksimatsiya predelnykh petel gisterezisa magnitomyagkikh materialov trantsedentnymi funktsiyami* [Approximation of limiting hysteresis loops of magnetically soft materials by transient functions]. Lvov, Teoreticheskaya elektrotehnika Publ., 1985 (in Russ.).
- [8] Kovalev A.V., Karpov V.A., Litvinov D.A. et al. Analysing effect of hysteresis of the proportional electromagnet on the error of sand and grit distribution of combined road machine in automatic mode. *Vestnik GGTU im. P.O. Sukhogo*, 2015, no. 1, pp. 58–64 (in Russ.).
- [9] Slivinskaya A.G. *Elektromagnitny i postoyannye magnitny* [Electromagnets and permanent magnets]. Moscow, Energiya Publ., 1972 (in Russ.).
- [10] Kovalev O.F. *Kombinirovannyye metody modelirovaniya magnitnykh poley v elektromagnitnykh ustroystvakh* [Combined method for modeling of magnet fields in electromagnetic devices]. Rostov-na-Donu, Izd-vo SKNTs VSh Publ., 2001 (in Russ.).
- [11] Matyuk V.F., Osipov A.A. *Mathematic models of magnetic curve and magnetic hysteresis loop. Part I. Analysis. Nerazrushayushchiy kontrol i diagnostika*, 2011, no. 2, pp. 3–35 (in Russ.).

Rubtsov P.V. — M.Sc. Student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Novak A.B. — M.Sc. Student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Kalinin A.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Rubtsov P.V., Novak A.B. Problems of proportional magnet control. *Politekhnicheskyy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 10(75).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-10-834.html> (in Russ.).