

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2026-53-80-84>

МЕТОД РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ ДЕЛИТЕЛЬНО-ЗАКАТОЧНЫХ МАШИНАХ

Кочетков Р.С., Бабаевский А.Н.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова», Белгород, Россия*

Ключевые слова: электрические машины, рекуперация энергии, магниты, магнитное поле, математическое моделирование каретки, экономия энергии, накопление энергии.

Аннотация. В статье анализируется проблема промышленных предприятий, эксплуатирующих оборудование без полных его функциональных возможностей. Многие компании воздерживаются от модернизации производства, опасаясь финансовых и операционных рисков, связанных с возможной неудачей внедрения новых решений. Однако современные научные подходы и инженерные методики позволяют таким предприятиям достигать стабильных результатов повышения эффективности различных машин. Отсутствие технологически актуальной комплектации и нового оборудования ограничивает потенциал повышения производительности действующих машин, что, в свою очередь, сдерживает наращивание объёмов выпускаемой продукции или получения выгоды внутри цикла используемых ресурсов.

THE METHOD OF ENERGY RECOVERY IN MODERN SEPARATION- SEAMING MACHINES

Kochetkov R.S., Babaevsky A.N.

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod,
Russia*

Keywords: electric machines, energy recovery, magnets, magnetic field, mathematical modeling of a carriage, energy saving, energy storage.

Abstract. The article analyzes the problem of industrial enterprises operating equipment without its full functionality. Many companies refrain from modernizing production, fearing the financial and operational risks associated with a possible failure to implement new solutions. However, modern scientific approaches and engineering techniques allow such enterprises to achieve stable results in improving the efficiency of various machines. The lack of technologically relevant equipment and new equipment limits the potential for increasing the productivity of existing machines, which, in turn, hinders the increase in output or benefits within the cycle of resources used.

Введение

На базе детального изучения и последующей модернизации делительно-закаточной машины будут представлены соответствующие методические подходы и выполнена качественно-оценочная работа. Обоснование применения системы рекуперации энергии базировалось на комплексном анализе ряда факторов, ключевыми из которых выступают: возвращение части потраченной энергии в результате работы, использования её в производстве, а также накопления её и последующего распределения.

Объектом научного исследования выбрана делительно-закаточная машина модели Г4-ДЗМ-02 – специализированное оборудование

хлебопекарной отрасли, предназначенное для формования тестовых заготовок. Конструктивная компоновка агрегата включает механизм набивки теста, формующую головку, оснащенную раскатывающими стаканами и скалками, ленточный конвейер, приводной узел, станину из чугуна, а также блок электроблокировки [1].

Рекуперация – это процесс восстановления или возврата части энергии, которая обычно теряется при выполнении определенной работы или процесса. Термин используется в различных контекстах, но его основное значение связано с восстановлением энергии или ресурсов в технических, инженерных или физических системах.

Рекуперация энергии в системах промышленных электроприводов представляет собой одно из стратегически важных направлений, способное существенно повысить энергоэффективность производственных предприятий и минимизировать энергетические потери.

Фундаментальный принцип рекуперации базируется на возврате и повторном использовании энергии, которая в традиционных схемах безвозвратно рассеивается в окружающую среду в виде тепла при торможении или остановке технологического оборудования. Данная технология обеспечивает преобразование кинетической энергии движущихся объектов в электрическую с последующей передачей её в питающую сеть или накоплением в аккумуляторах для дальнейшего применения [2].

Ключевые преимущества внедрения систем рекуперации энергии включают:

- снижение энергопотребления на величину до 30-40% за счёт энергии торможения;
- уменьшение тепловыделения в производственных помещениях, что снижает нагрузку на системы вентиляции и кондиционирования;
- снижение нагрузки на тормозные резисторы или полный отказ от них, что упрощает конструкцию привода;
- увеличение эксплуатационного ресурса оборудования благодаря уменьшению термических и механических нагрузок на компоненты системы;
- сокращение выбросов CO₂ за счёт уменьшения потребления электроэнергии от внешних источников генерации;
- экономия финансовых средств электроэнергии.

Таким образом, интеграция рекуперативных систем в структуру промышленного электропривода обеспечивает не только технико-экономический эффект, но и способствует достижению целей устойчивого развития производственных комплексов.

Установка представлена следующим образом. Каретка с установленным магнитом, которая перемещает готовые формы на конвейерную ленту, перемещается вдоль располагающейся вблизи неподвижной медной катушки [3].

Происходят изменения магнитного потока, пронизывающего контур, обусловленные движением магнитного поля во времени при условии

неподвижности самого контура. Поскольку проводник стационарен, возникает ЭДС. Величина ЭДС индукции в неподвижном проводнике определяется работой данного поля по перемещению единичного положительного заряда вдоль замкнутого контура. Схематичное представление механизма рекуперации представлено на рисунке 1.

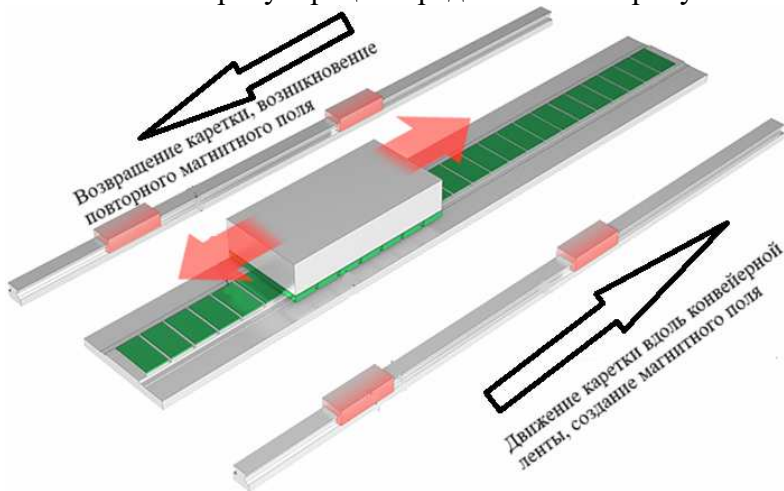


Рис. 1. Схематичное описание процесса рекуперации

Для исследования процесса рекуперации была использована программа Matlab и среда математического моделирования Simulink. Библиотека SimPowerSystems представляет собой один из специализированных пакетов расширения среды Simulink, предназначенный для имитационного моделирования электротехнических устройств и систем. Данный инструментарий содержит обширный набор функциональных блоков, позволяющих создавать детализированные модели электротехнического оборудования. В состав библиотеки включены компоненты для моделирования пассивных и активных элементов электрических цепей, источников электропитания различной природы, электрических машин (в том числе электродвигателей), силовых трансформаторов, линий электропередачи, а также иного сопутствующего оборудования [4].

На основе этого была составлена следующая математическая модель, представленная на рисунке 2.

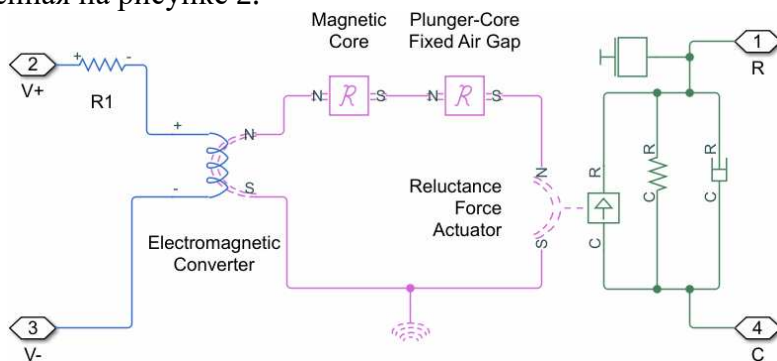


Рис. 2. Математическая модель установки

Весь цикл перемещения каретки длится 2,7 с. Сам процесс движения разбит на несколько участков, где:

- 0,5 с движения вперёд, сбор теста;
- 1,2 с обратно-возвратное перемещение с формированием заготовки;
- 0,3 с ожидания схода теста;
- 0,7 с возвращения в исходное положение;

График полученного напряжения во время всего цикла работы можно увидеть на рисунке 3.

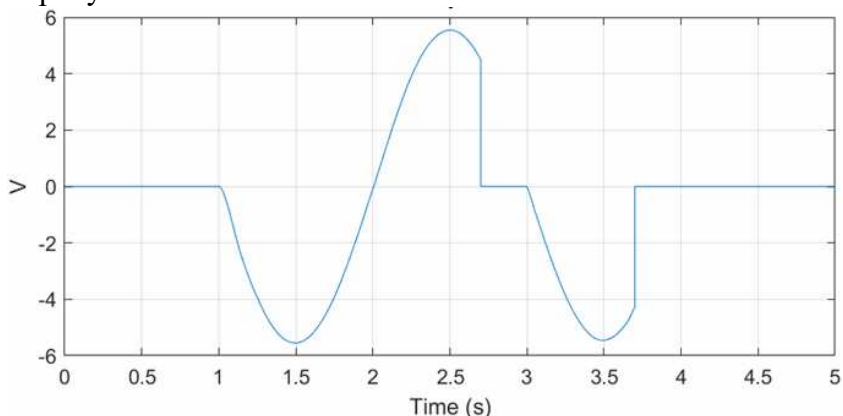


Рис. 3. График полученного напряжения

Согласно полученным значениям, максимальное напряжение составляет 5,52 В. Используя универсальную формулу площади, можно рассчитать полученное напряжение на всех участках [5].

$$S = \int_{t_1}^{t_2} U_{\max} \sin(\omega t) dt. \quad (1)$$

где $U_{\max}$ – пиковое напряжение; ω – угловая частота; t_1, t_2 начало и конец участков времени.

При интегрировании первого участка полученная напряжённость составляет 6,3 В·с. Второй участок равен 2,79 В·с. Суммарное получаемое напряжение на весь цикл работы составляет 24,543 В.

Данного напряжения будет достаточно для следующих целей [6]:

- питание электроники: конденсаторы на 25 В часто ставят в блоках питания для 12 В или 19 В цепей (ноутбуки, мониторы) для обеспечения запаса прочности по напряжению;
- электроинструмент и техника: аккумуляторные инструменты часто работают от 24-26 вольт;
- светодиодное освещение: профессиональные ленты и прожекторы, требующие высокой мощности и меньшего падения напряжения по сравнению с 12 В.

Выводы

На основе анализа рабочего цикла машины и полученных значений можно заключить следующее. Данная промышленная машина имеет возможность быть модифицированной, следовательно, обладает повышенной

производственной составляющей. Технологический процесс позволяет внедрить систему рекуперации энергии на основе электромагнитных взаимодействий движущегося поля и неподвижного проводника. Полученные значения рекуперационной энергии имеют возможность использоваться в слаботочной и малозатратной энергетической области.

Список литературы

1. Патент №2325055 РФ. Делительно-закаточная машина для производства тестовых заготовок бараночных изделий / В.Н. Виноградов, А.В. Лялин, В.Г. Шинаков, И.В. Шинаков. – Заявка №2006132711 от 14.08.2006; опубл. 27.05.2008.
2. Мазнев А.С., Степанская О.А., Шатнев О.И. Системы рекуперации энергии торможения электроподвижного состава на городском транспорте Санкт-Петербурга // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – Т. 14, №1. – С. 63-72.
3. Головань Ю.П., Ильинский Н.А., Ильинская Т.Н. Технологическое оборудование хлебопекарных предприятий: учебник для учащихся средних специальных учебных заведений по специальности 1003 "Хлебопекарное производство". – М.: Агропромиздат, 1988. – 382 с.
4. Дьяконов В.П. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
5. Лейберт Б.М., Денисова О.А. Физика. Электромагнитная индукция: Учебное пособие. – Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2022. – 44 с.
6. Гаев Г.П., Герасимов В.Г., Князьков О.М., Кузнецов Э.В., Культиасов П.С., Сергеев В.Г., Соломенцев В.Е. Электротехника и электроника. Учебник для вузов. – В 3-х кн. Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 432 с.

References

1. Patent No. 2325055 RU. Dividing and seaming machine for the production of dough blanks of lamb products / V.N. Vinogradov, A.V. Lyalin, V.G. Shinakov, I.V. Shinakov – Appl. No. 2006132711/13 from 08.14.2006; publ. 05.27.2008.
2. Maznev A.S., Stepanская O.A., Shatnev O.I. Braking energy recovery systems for electric rolling stock in urban transport St. Petersburg // Proceedings of the St. Petersburg University of Railway Communications. 2017, vol. 14, no. 1, pp. 63-72.
3. Golovan Yu.P., Ilyinsky N.A., Ilyinskaya T.N. Technological equipment of bakery enterprises: a textbook for students of secondary specialized educational institutions specializing in 1003 "Bakery production". – M.: Agropromizdat, 1988. – 382 p.
4. Dyakonov V.P. Simulink 4. Special reference book. – St.P.: Peter, 2002. – 528 p.
5. Leibert B.M., Denisova O.A. Physics. Electromagnetic induction: textbook. – Ufa: UNPC "Publishing house of UGNTU", 2022. – 44 p.
6. Gaev G.P., Gerasimov V.G., Knyazkov O.M., Kuznetsov E.V., Kultiasov P.S., Sergeev V.G., Solomentsev V.E. Electrical engineering and electronics. Textbook for universities. – In 3 books. Book 3. Electrical measurements and fundamentals of electronics. – M.: Energoatomizdat, 1998. – 432 p.

Кочетков Роман Сергеевич – магистрант	Kochetkov Roman Sergeevich – master's student
Бабаевский Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент	Babaevsky Alexander Nikolaevich – candidate of technical sciences, associate professor
rabotniy_pochta@mail.ru	

Received 08.04.2026