

zatsii: dis. ... d-ra biol. nauk: 03.00.13 / Bolshakov Mikhail Alekseevich. – Tomsk, 2002. – 319 s.

17. Gordeeva, M.A. Vliianie elektromagnitnykh polei na rastitelnye i zhivotnye organizmy: dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.08 / Gordeeva Mariia Andreevna. – Tiumen, 2013. – 198 s.

18. Efimov, A.G. Issledovanie vzaimodeistviia kombinirovannykh elektromagnitnykh polei s metallom, razrabotka effektivnykh sredstv elektromagnitnoi defektoskopii: dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.11.13 / Efimov Aleksei Gennadevich. – Moskva, 2012. – 308 s.

19. Buiakova, N.V. Elektromagnitnaia bezopasnost v sistemakh elektrosnabzheniia zheleznykh dorog: modelirovanie i upravlenie / N.V. Buiakova, V.P. Zakariukin, A.V. Kriukov. – Angarsk: AnGTU, 2018. – 382 s.

20. Simulation of Electromagnetic Fields Generated by Overhead Power Lines and Railroad Traction Networks / N.V. Buyakova, V.P. Zakariukin, A.V. Kryukov, D.A. Seredkin // Energy Systems Research. – 2021. – Vol. 4. – No. 2 (14). – P. 70-88. – DOI: <https://doi.org/10.38028/esr.2021.02.0007>

(data obrashcheniia: 01.10.2022). – Rezhim dostupa: svobodnyi.

21. Titov E.V., Soshnikov A.A., Migalev I.E., Computer Imaging of Electromagnetic Environment in Air Space with Industrial Electromagnetic Field Sources in Conditions of Combined Influence of EM Radiation. Journal of Electromagnetic Engineering and Science. vol. 22, no. 1, pp. 34-40, Jan. 2022. ID No. 20210317-036J. – DOI: <https://doi.org/10.26866/jees.2022.1.r.58> (data obrashcheniia: 01.10.2022). – Rezhim dostupa: svobodnyi.

22. Kompiuternoe modelirovanie nalozhennykh elektromagnitnykh voln ot istochnikov elektromagnitnogo polia v shirokom diapazone chastot / E.V. Titov, A.A. Soshnikov, V.Iu. Vasilev, A.S. Solovskoi // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 3 (209). – S. 102-108. – DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108> (data obrashcheniia: 01.10.2022). – Rezhim dostupa: svobodnyi.



УДК 519.876.5

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-216-10-89-100

С.Ю. Еремочкин, Д.В. Дорохов

S.Yu. Eremochkin, D.V. Dorokhov

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ УСТРОЙСТВОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A SINGLE-PHASE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF AN AGRICULTURAL MACHINE WITH A SEMICONDUCTOR SPEED CONTROL DEVICE

Ключевые слова: асинхронный двигатель, имитационное моделирование, Matlab, Simulink, векторно-алгоритмическое управление.

Однофазные асинхронные электроприводы широко используются в машинах и агрегатах всех отраслей сельского хозяйства. При этом применяются устаревшие и неэффективные способы питания от сети, например, конденсаторный пуск. Для наиболее эффективного и энергосберегающего питания асинхронного электродвигателя повсеместно используются частотные преобразователи. Однако однофазные частотные преобразователи являются довольно дорогостоящими. Альтернативой использования дорогостоящих частотных преобразователей, а также низкоэффективных конденсаторов в однофазном асинхронном электро-

приводе, может оказаться питание с помощью систем управления векторно-алгоритмического типа. Полупроводниковое устройство регулирования скорости состоит из 4 пар полупроводниковых ключей, подсоединенных к источнику постоянного тока и обмоткам статора. С помощью различных вариантов включения статорных обмоток электродвигателя можно создавать различные типы вращающихся магнитных полей, которые можно использовать для регулирования скорости электродвигателя и обеспечивать возможность реверса электродвигателя. Для снижения денежных затрат на изготовление лабораторных образцов на начальном этапе проектирования полупроводниковых устройств целесообразно провести компьютерное моделирование. Целью работы является разработка однофазного асинхронного электропривода на основе векторно-

алгоритмического управления для мобильных сельскохозяйственных машин малой мощности. Для построения имитационной модели электропривода использовалась среда компьютерного имитационного моделирования Matlab Simulink. Показаны поэтапный алгоритм построения модели в блоках и их взаимосвязь. На основе полученной модели получены электромеханические характеристики асинхронного двигателя сельскохозяйственной машины при работе с полупроводниковым устройством регулирования скорости, которые свидетельствуют о целесообразности его использования в электроприводе мобильных сельскохозяйственных машин. Было выяснено, что данное полупроводниковое устройство позволяет производить пуск однофазного асинхронного электродвигателя в прямом и обратном направлении с пусковым моментом 202% от пускового момента при конденсаторном пуске, а также позволяет производить работу с критическим моментом 286% от критического момента при конденсаторном пуске.

Keywords: *asynchronous motor, simulation modeling, Matlab, Simulink, vector-algorithmic control.*

Single-phase asynchronous electric drives are widely used in machines and units of all branches of agriculture. And also, outdated and inefficient methods of power supply from the network are used, for example, capacitor start. For the most efficient and energy-saving supply of an asynchronous electric motor, frequency converters are widely used. However, single-phase frequency converters are

quite expensive. An alternative to using expensive frequency converters, as well as low-efficiency capacitors in a single-phase asynchronous electric drive, may be powered by vector-algorithmic control systems. The semiconductor speed control device consists of four pairs of semiconductor switches connected to a DC source and stator windings. Various types of rotating magnetic fields may be created by using various options for connecting the stator windings of the electric motor which may be used to control the speed of the electric motor and provide the possibility of reversing the electric motor. To reduce the cost of manufacturing laboratory samples at the initial stage of designing semiconductor devices, it is advisable to carry out computer simulation. The research goal is the development and study of a single-phase asynchronous electric drive based on vector-algorithmic control for low-power mobile agricultural machines. To build a simulation model of the electric drive, the Matlab Simulink computer simulation environment was used. A step-by-step algorithm for building a model in blocks and their relationship are shown. Based on the model obtained, the electromechanical characteristics of an asynchronous motor of an agricultural machine were obtained when working with a semiconductor speed control device which indicated the feasibility of its use in the electric drive of mobile agricultural machines. It was found that this semiconductor device allows starting a single-phase asynchronous electric motor in the forward and reverse direction with a starting torque of 202% of the starting torque with a capacitor start, and also allows working with a critical moment of 286% of the critical moment with a capacitor start.

Еремочкин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: S.Eremochkin@yandex.ru.

Дорохов Данил Валерьевич, студент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: danil.dorokhov.2000@mail.ru.

Eremochkin Sergey Yurevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: S.Eremochkin@yandex.ru.

Dorokhov Danil Valerevich, student, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: danil.dorokhov.2000@mail.ru.

Введение

Однофазные асинхронные электроприводы получили широкое распространение в машинах и агрегатах сельскохозяйственного производства, применяясь в зернодробилках, картофеле-чистках, насосных станциях для полива, индивидуальных доильных аппаратах и т.д. При этом используются устаревшие и неэффективные способы питания от сети, например, конденсаторный пуск [1].

Сегодня для наиболее эффективного и энергосберегающего питания асинхронного электродвигателя повсеместно используются частотные преобразователи. Однако однофазные частотные преобразователи являются довольно дорогостоящими, что существенно ограничивает

возможности их широкого применения в сельскохозяйственной технике малой мощности.

Эффективной альтернативой использования дорогостоящих частотных преобразователей, а также низкоэффективных конденсаторов в однофазном асинхронном электроприводе, может оказаться питание с помощью систем управления векторно-алгоритмического типа. Данные устройства позволяют получать вращающееся поле статора двигателя, близкое к круговому, обеспечивают повышение развиваемого двигателем момента и улучшение энергетических характеристик, но при меньших затратах, чем при использовании существующих однофазных преобразователей частоты [2].

На рисунке 1 приведена принципиальная электрическая схема полупроводникового устройства регулирования скорости [3].

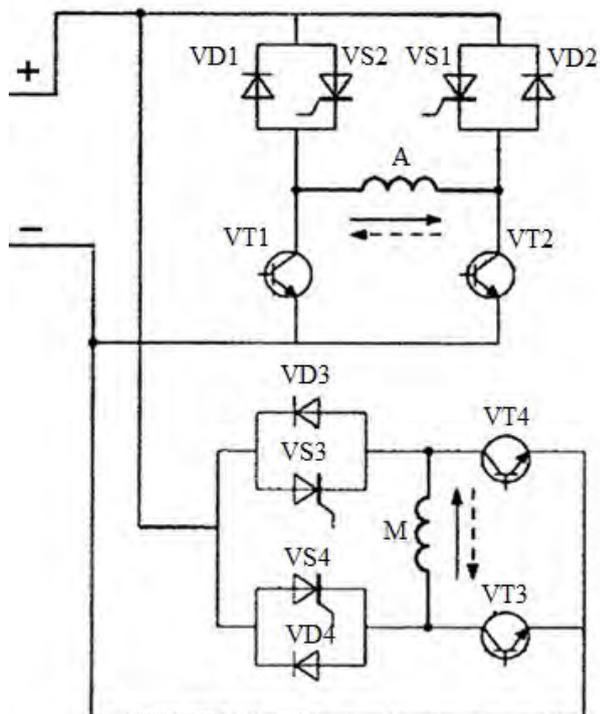


Рис. 1. Полупроводниковое устройство

Устройство состоит из четырех пар полупроводниковых ключей, подключенных к статорным

обмоткам однофазного двухобмоточного асинхронного электродвигателя. Каждая пара полупроводниковых ключей образована n-p-n транзистором (VT1, VT2, VT3, VT4) и тиристором (VS1, VS2, VS3, VS4) со встречно-параллельно включенным диодом. Начала и концы статорных обмоток подключены к средним точкам пар полупроводниковых ключей таким образом. Эмиттеры транзисторов объединены и подключены к минусу источника постоянного тока. Коллекторы транзисторов подключены к статорным обмоткам двигателя. Аноды тиристоров и катоды диодов объединены и подключены к плюсу источника постоянного тока, а катоды тиристоров и аноды диодов – к статорным обмоткам двигателя. Таким образом, создается возможность обеспечения подачи постоянного напряжения независимо на каждую статорную обмотку как в прямом, так и в обратном направлении. Встречно-параллельное включение диодов и тиристоров обеспечивает замыкание ЭДС самоиндукции, возникающей в статорных обмотках при выключении транзисторов.

С помощью различных вариантов включения статорных обмоток электродвигателя можно создавать различные типы вращающихся магнитных полей (рис. 2), которые можно использовать для регулирования скорости электродвигателя и обеспечивать возможность реверса электродвигателя.

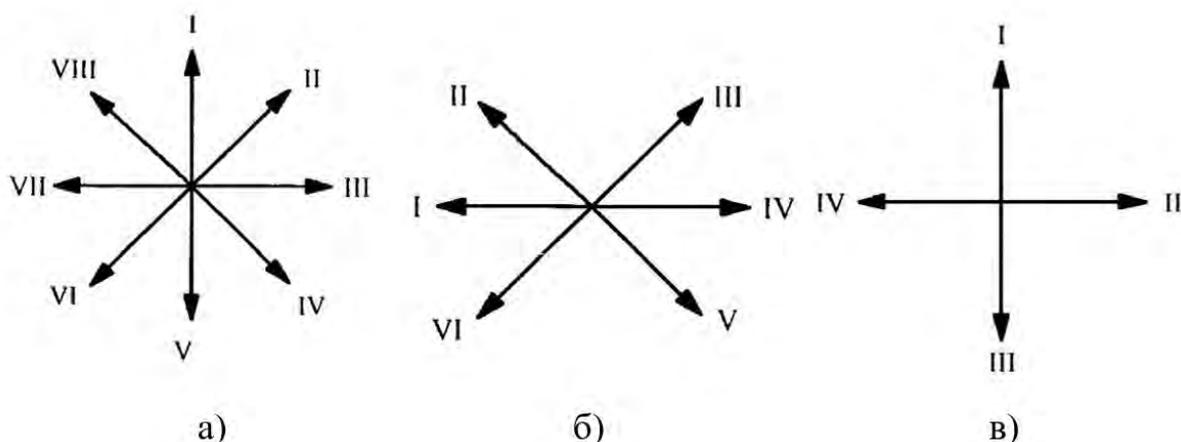


Рис. 2. Положения вектора магнитной индукции магнитного потока поля статора: а – восемь положений вектора; б – шесть положений вектора; в – четыре положения вектора

Работа полупроводникового устройства происходит следующим образом.

Путем изменения алгоритма и частоты коммутации полупроводниковых ключей на обмотки статора однофазного двигателя возможно подавать постоянное напряжение, обеспечивающее

создание вращающегося магнитного поля с необходимыми характеристиками.

На рисунке 3 приведена тактовая диаграмма подачи управляющих сигналов на базы транзисторов и управляющие электроды тиристоров, которая обеспечивает вращение магнитного потока вращающегося поля статора в соответ-

ствии с векторной диаграммой, приведенной на рисунке 2 б.

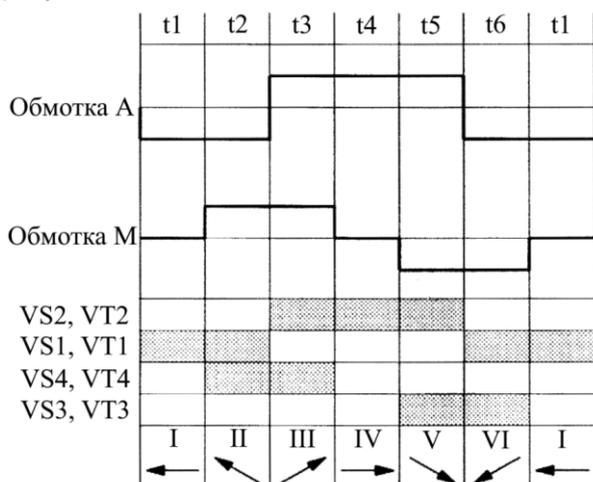


Рис. 3. Тактовая диаграмма подачи управляющих импульсов на открытие полупроводниковых ключей

Возможность регулирования скорости электродвигателя обеспечивается путем изменения частоты коммутации полупроводниковых ключей. Регулирование напряжения на обмотках статора обеспечивается путем изменения степени открытия транзисторов [3].

Целью исследования является разработка и исследование однофазного асинхронного электропривода на основе векторно-алгоритмического управления для мобильных сельскохозяйственных машин малой мощности.

Методы

Для получения основных характеристик однофазного асинхронного электропривода сельскохозяйственной машины при работе с полупроводниковым устройством был выбран метод компьютерного имитационного моделирования.

Результаты исследований и их обсуждение

Для снижения денежных затрат на изготовление лабораторных образцов на начальном этапе проектирования полупроводниковых устройств с системой управления векторно-алгоритмического типа целесообразно провести компьютерное моделирование.

Корректность результатов моделирования во многом зависит от правильной модели однофазного асинхронного двигателя [4-7]. Модель должна иметь возможность моделировать работу электродвигателя с различными режимами питания обмоток статора, такими как несинусоидальные и несимметричные напряжения.

Пакет прикладного программного обеспечения Matlab Simulink предназначен для осуществления компьютерного имитационного моделирования линейных и нелинейных динамических систем и может быть применен для исследования электроприводов с оригинальными полупроводниковыми устройствами запуска и работы однофазных асинхронных электродвигателей. Создание модели в Matlab производится путем сборки в диалоговом окне программы схемы соединений из готовых визуальных блоков библиотеки Simulink, представляющих собой математические модели различных процессов [8].

Разработанная имитационная модель однофазного асинхронного электропривода состоит из блоков-источников, имитирующих источник питающего напряжения, а также блоков-приемников, которые позволяют получать временные зависимости электромеханических характеристик моделируемой системы [9].

На рисунке 4 представлена модель из блоков среды Simulink для определения тока в каждой обмотке асинхронного однофазного электродвигателя.

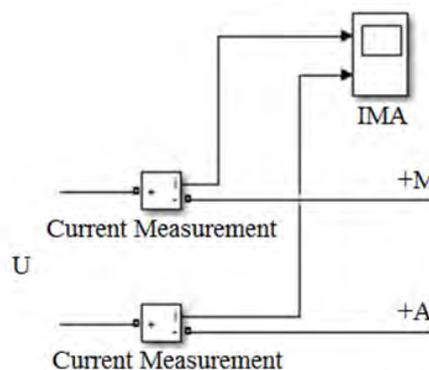


Рис. 4. Модель измерения тока в каждой обмотки двигателя

Логика работы данной части имитационной модели заключается в том, что блок «Current Measurement» включается последовательно необходимой обмотке в модели асинхронного электродвигателя и определяет полную величину тока в соответствующей обмотке. Далее измеренное значение величины тока с выхода блока «i» поступает на блок «Scope» (переименован в IMA), который представляет измеренное значение в визуальном формате и позволяет сохранить его для дальнейшей обработки.

На рисунке 5 представлена модель из блоков среды Simulink для определения напряжения на

каждой обмотке асинхронного однофазного электродвигателя.

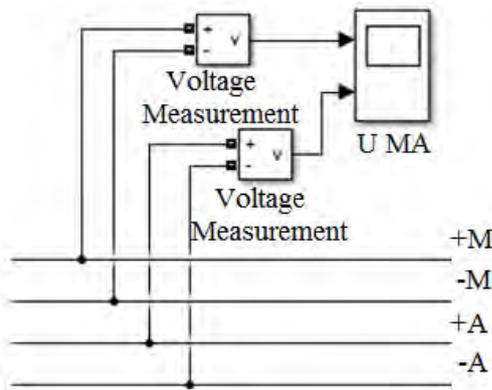


Рис. 5. Модель измерения напряжения на каждой обмотке

Логика работы данной части имитационной модели заключается в том, что блок «Voltage Measurement» включается параллельно необходимой обмотке в модели асинхронного электродвигателя и определяет полную величину напряжения на соответствующей обмотке. Далее измеренное значение величины тока с выхода блока «v» поступает на блок «Scope» (переименован в U MA) для визуализации и сохранения данных.

На рисунке 6 представлена модель из блоков среды «Simulink» для определения активной, реактивной и полной мощностей.

Логика работы данной модели заключается в том, что блок «Power», с помощью стандартных алгоритмов Matlab на основе величин тока и величин напряжения рассчитывает активную и реактивную мощность, потребляемую одной из обмоток «M» или «A». Далее, сигналы с выхода «P» блоков «Power» для обмоток «M» и «A» суммируются с помощью блока «Subtract». Сигнал с выхода блока «Subtract» представляет собой искомую активную мощность (P), потребляемую машиной из сети. Аналогичным образом определяется реактивная мощность (Q), потребляемая машиной. Определение полной мощности машины (S) основывается на известном соотношении:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (1)$$

Сигналы с выходов блоков «Subtract» для определения активной и реактивной мощности с помощью блоков «Product» возводятся в квадрат, далее суммируются блоком «Subtract». Блок «Sqrt» производит вычисление квадратного корня и сигнал с выхода данного блока пред-

ставляет собой полную мощность, потребляемую исследуемой машиной [10].

На рисунке 7 представлена модель из блоков среды Simulink для определения коэффициента мощности исследуемой машины.

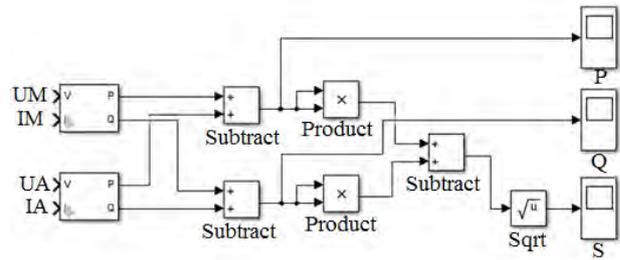


Рис. 6. Модель для определения активной, реактивной и полной мощностей

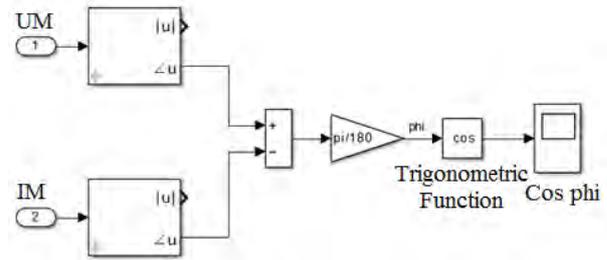


Рис. 7. Модель для определения коэффициента мощности

Логика работы данной модели заключается в том, что блок «Fourier» с помощью стандартных алгоритмов Matlab для величин тока и величин напряжения рассчитывает их фазу. Далее определяется разность фаз между данными величинами. С помощью умножения на pi/180 производится перевод угла в радианы. Далее сигнал подается на блок «Trigonometric Function», который рассчитывает коэффициент мощности первой гармоники.

На рисунке 8 представлена модель из блоков среды Simulink для определения угловой скорости вала машины и развиваемого ею крутящего момента.

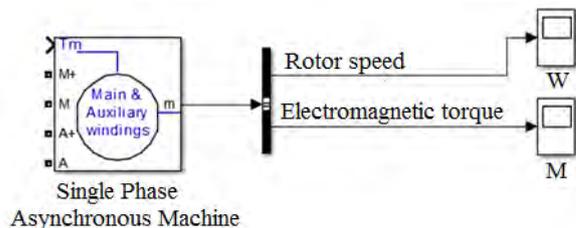


Рис. 8. Модель для определения угловой скорости и момента

Момент вала двигателя и его угловая скорость являются величинами, которые на основе математической модели асинхронной несимметричной машины и заданной величины вход-

ного питающего напряжения рассчитывает блок «Single Phase Asynchronous Machine».

На рисунке 9 представлена модель из блоков среды Simulink для определения активной мощности на валу электродвигателя.

Определение активной мощности на валу машины основывается на известном соотношении:

$$P_2 = \omega \cdot M. \quad (2)$$

Момент вала двигателя и его угловая скорость, как уже было отмечено, рассчитывает блок «Single Phase Asynchronous Machine» [11].

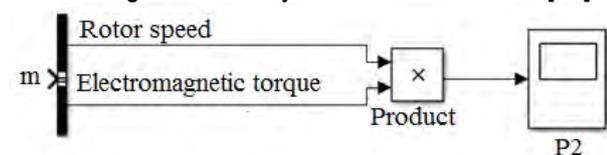


Рис. 9. Модель

для определения активной мощности на валу

На рисунке 10 представлена модель из блоков среды Simulink для определения коэффициента полезного действия исследуемой машины.

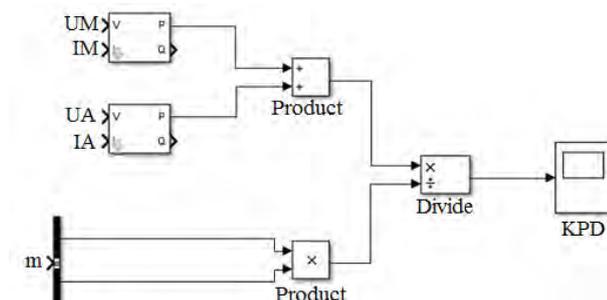


Рис. 10. Модель для определения коэффициента полезного действия

Определение коэффициента полезного действия основывается на известном соотношении

$$\eta = \frac{P_2}{P}. \quad (3)$$

Логика работы данной модели заключается в том, что с помощью блока «Divide» находится отношение активной мощности на валу электродвигателя к активной мощности, потребляемой машиной из сети [12].

На рисунке 11 представлена модель из блоков среды Simulink для построения механической характеристики исследуемой машины.

В данной схеме момент вала двигателя и его угловая скорость, рассчитываемые блоком «Single Phase Asynchronous Machine», подаются на блок «XY Graph», который производит построение механической характеристики.

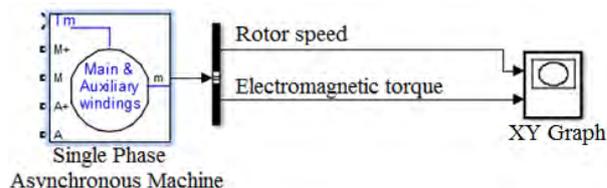


Рис. 11. Модель

для построения механической характеристики

На рисунке 12 приведена модель, задающая нагрузку на вал асинхронной машины.

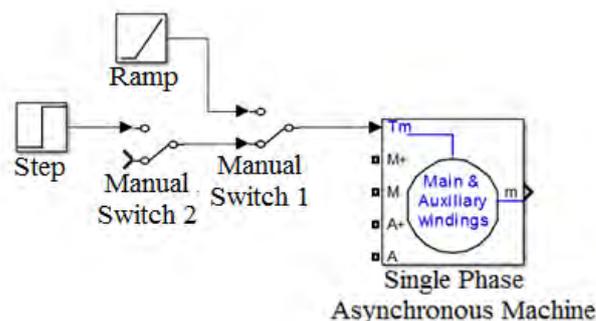


Рис. 12. Модель

для задания нагрузки на вал машины

Данная модель позволяет обеспечить три варианта нагрузки на двигатель:

- при верхнем положении переключателя «Manual Switch 1» и нижнем «Manual Switch 2» на двигатель подключается линейно нарастающая нагрузка;
- при нижнем положении переключателя «Manual Switch 1» и верхнем «Manual Switch 2» подключается статическая нагрузка;
- при нижнем положении обоих переключателей «Manual Switch 1» и «Manual Switch 2» подключается нулевая нагрузка.

В качестве примера система питания асинхронного двигателя в данном случае выполнена с пусковым конденсатором в одной из обмоток электродвигателя.

На рисунке 13 представлена имитационная модель асинхронного электропривода с полупроводниковым устройством и двигателем ДАК110-90-1,5. Данный асинхронный двигатель имеет следующие параметры: номинальная мощность, $P_n = 0,09$ кВт; номинальное напряжение, $U_n = 220$ В; номинальный момент, $M_n = 0,49$ Нм; пусковой момент, $M_p = 0,34$ Нм; критический момент, $M_{кр} = 1,03$ Нм; номинальная частота вращения, $n_2 = 1380$ об/мин.

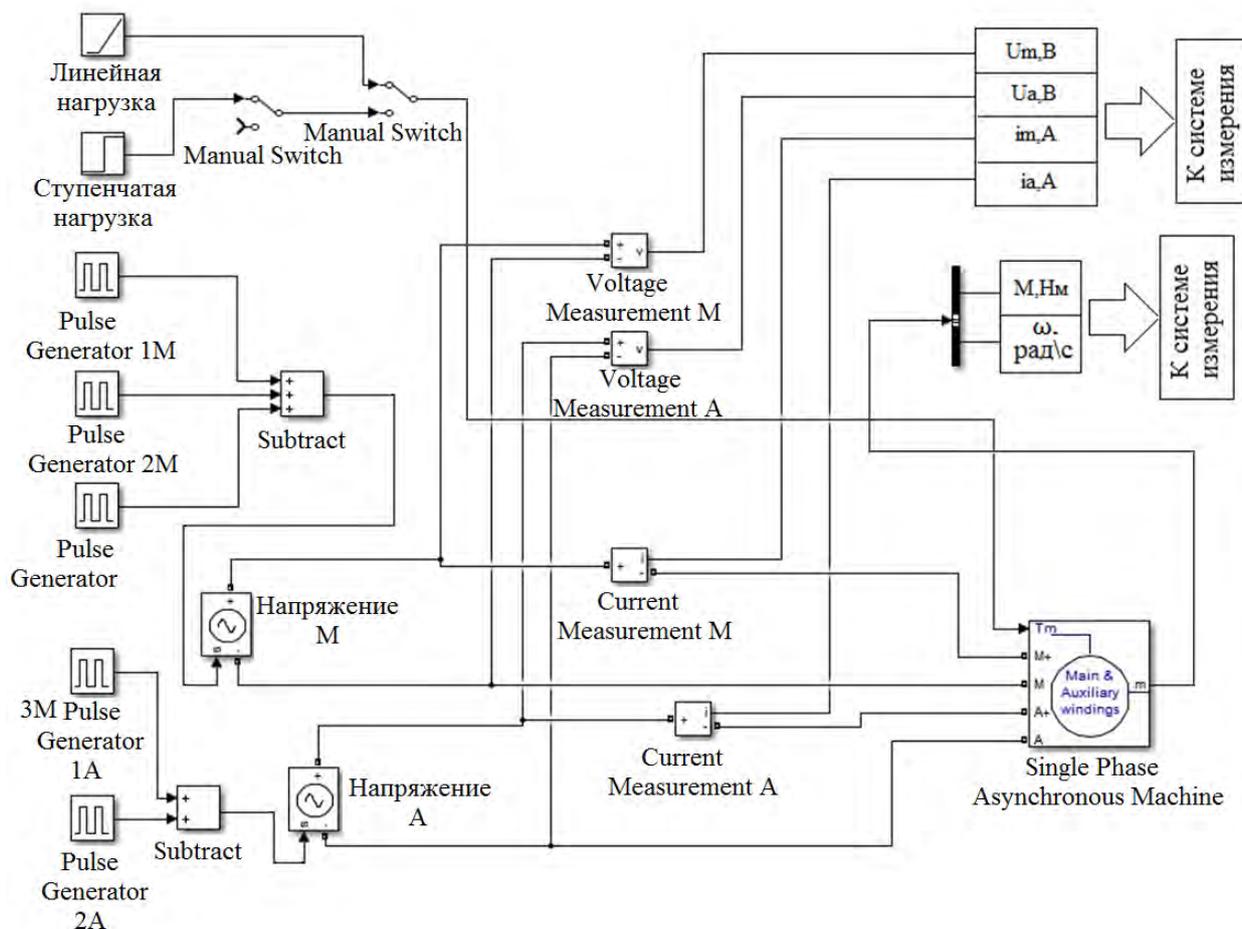


Рис. 13. Имитационная модель электропривода

В данной имитационной модели электропривода n - r - n биполярные транзисторы, тиристоры, диоды и их система управления упрощены, а их работа имитируется с помощью управляемых источников напряжения «Controller Voltage Source» в режиме «Source type-DC», которые взяты из стандартной библиотеки «Power Electronics».

Управляемые источники напряжения при подаче управляющих сигналов в определенной последовательности могут выдавать напряжение на статорные обмотки такого же вида, как если бы питание происходило от исследуемого устройства.

Блок «Single Phase Asynchronous Machine» в данной модели переводится в режим «Main and auxiliary windings», что позволяет питать двигатель несимметричным напряжением.

Подача управляющих сигналов на управляемые источники напряжения в модели осуществляется с помощью пяти генераторов импульсов, предварительно настроенных на выдачу управляющих сигналов с нужной частотой и амплитудой.

На рисунке 14 представлена имитационная модель асинхронного электропривода сельскохозяйственной машины с пусковым и рабочим конденсаторами и асинхронным однофазным электродвигателем, созданная в среде Simulink.

В данной имитационной модели электропривода на входы «+M» и «M» блока «Single Phase Asynchronous Machine» подается синусоидальное питающее напряжение, заданное блоком «Sine Wave». С помощью блоков «Current Measurement» и «Voltage Measurement» осуществляется измерение величин тока и напряжения потребляемых электродвигателем. В блоке «Single Phase Asynchronous Machine» вместо режима работы «Capacitor-Start» выбирается «Capacitor-Start-Run», что позволяет задавать емкость как пускового, так и рабочего конденсатора.

С помощью разработанных имитационных моделей было проведено исследование характеристик асинхронного электродвигателя ДАК110-90-1,5 при конденсаторном пуске, а также при работе с полупроводниковым устройством. В результате проведения эксперимента были получены осциллограмма крутящего мо-

мента на валу электродвигателя, осциллограмма угловой скорости, а также статическая механическая характеристика однофазного асинхронного электродвигателя.

Из осциллограммы, представленной на рисунке 15, видно, как происходит изменение вращающего момента на валу электродвигателя при работе с пусковым и рабочим конденсаторами в разные моменты времени. В момент от начала времени моделирования (0с) и до 1,5 с можно наблюдать переходной процесс пуска электродвигателя под нагрузкой.

Колебания момента при пуске от 0,1 до 0,53 Нм наблюдаются в период до 0,65 с, далее момент приходит к установившемуся значению в 0,34 Нм, что является пусковым моментом электродвигателя. Интервал времени моделирования от 1,5 и до 2 с соответствует переходному процессу после снятия пускового момента. Момент времени моделирования 3,7 с соответствует «опрокидыванию» электродвигателя с максимальным моментом нагрузки на валу в 0,86 Нм.

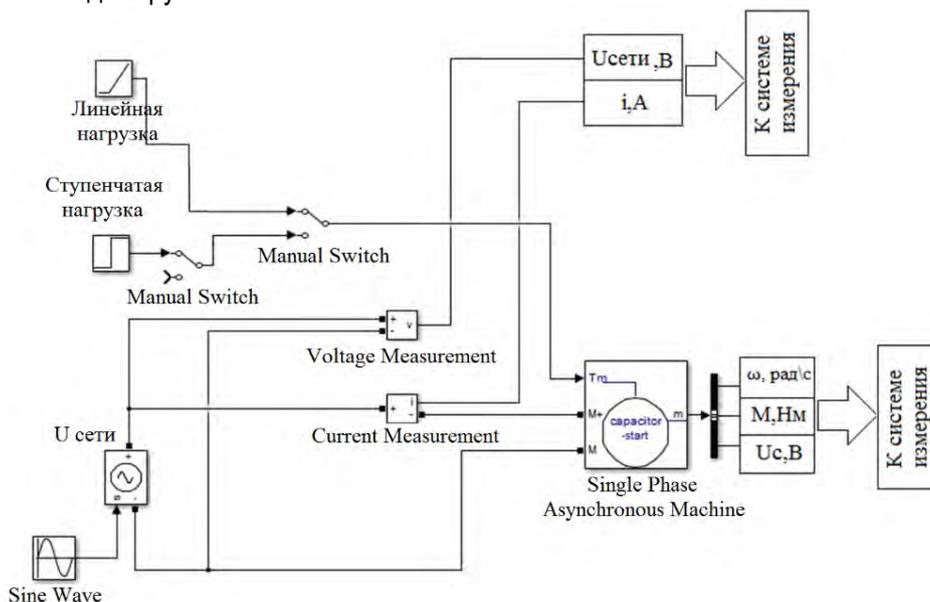


Рис. 14. Имитационная модель однофазного асинхронного электропривода с конденсаторным пуском

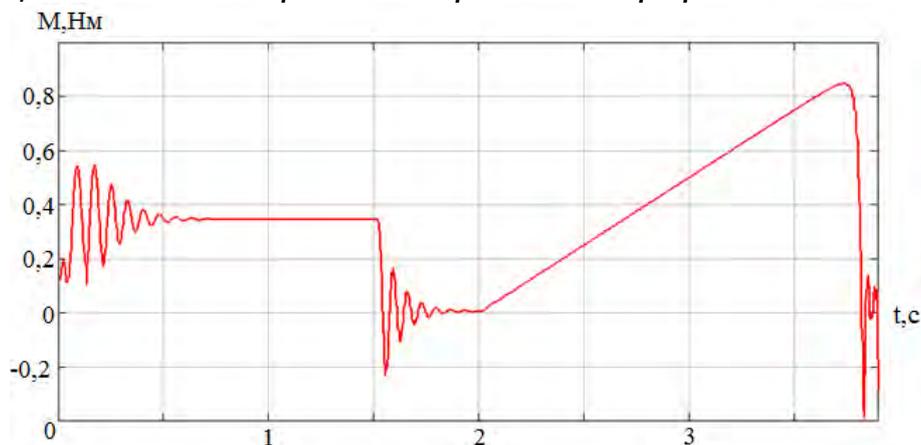


Рис. 15. Осциллограмма крутящего момента вала электродвигателя при работе с пусковым и рабочим конденсаторами

На рисунке 16 представлена осциллограмма крутящего момента на валу электродвигателя при работе с полупроводниковым устройством. Колебания момента при пуске от -0,68 до 0,9 Нм наблюдаются в период до 0,35 с, далее момент приходит к установившемуся значению в 0,69 Нм, что является пусковым моментом электродвигателя. Интервал времени моделирования

от 1,5 и до 2 с соответствует переходному процессу после снятия пускового момента. Момент времени моделирования 6,15 с соответствует «опрокидыванию» электродвигателя с максимальным моментом нагрузки на валу в 1,98 Нм.



Рис. 16. Осциллограмма крутящего момента вала электродвигателя при пуске и работе под нагрузкой

На рисунке 17 представлена осциллограмма угловой скорости вала электродвигателя при работе с пусковым и рабочим конденсаторами, откуда видно, как изменяется угловая скорость вала электродвигателя при работе с пусковым и рабочим конденсаторами под нагрузкой в разные моменты времени моделирования. Время пуска составляет 0,9 с. Интервал времени моделирования от 1,5 до 1,8 с соответствует переходному процессу после снятия пускового мо-

мента. В период от 2 до 3,7 с угловая скорость вала при подключении нагрузки изменяется незначительно. В момент времени моделирования 3,7 с угловая скорость резко стремится к нулю, что соответствует останову двигателя в результате перегрузки.

На рисунке 18 представлена осциллограмма угловой скорости вала электродвигателя при работе с полупроводниковым устройством.

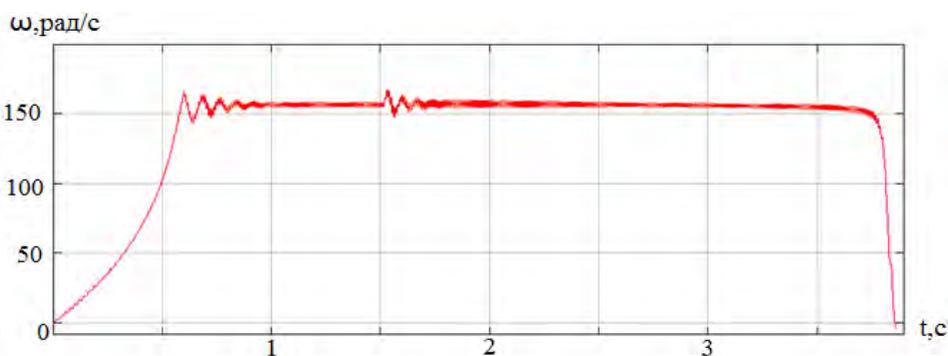


Рис. 17. Осциллограмма угловой скорости вала электродвигателя при пуске и работе под нагрузкой

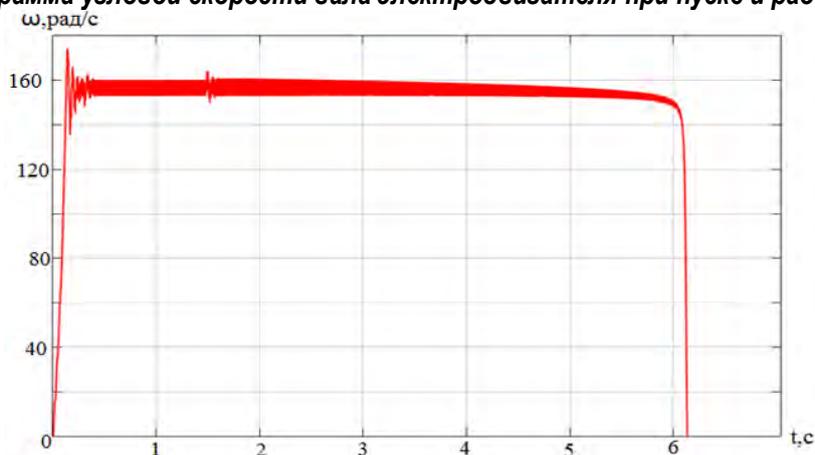


Рис. 18. Осциллограмма угловой скорости вала электродвигателя при работе с полупроводниковым устройством

Как видно из осциллограммы, время пуска электродвигателя составляет 0,35 с. В момент времени моделирования от 1,5 и до 1,8 с можно наблюдать переходной процесс после снятия пускового момента. В период от 2 до 6,15 с угловая скорость вала при подключении нагрузки изменяется с 157 до 150 рад/с. В момент времени моделирования 6,15 с угловая скорость резко

стремится к нулю, что соответствует перегрузке электродвигателя.

На рисунке 19 представлена статическая механическая характеристика однофазного асинхронного электродвигателя при использовании пускового и рабочего конденсаторов для питания двигателя.

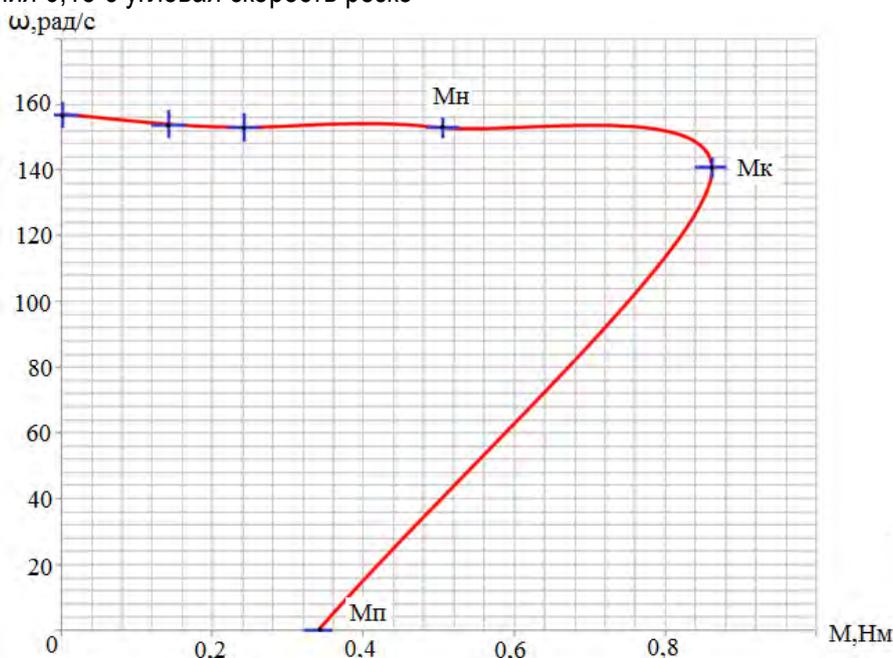


Рис. 19. Статическая механическая характеристика электродвигателя при конденсаторном пуске

Как видно из графика на рисунке 18, пусковой момент (M_n) электродвигателя составляет 0,34 Нм, значение критического момента (M_k) – 0,69 Нм и развивается при угловой скорости в 144 рад/с, значение номинального момента в

0,49 Нм развивается при угловой скорости в 149 рад/с.

На рисунке 20 представлена статическая механическая характеристика однофазного асинхронного электродвигателя при работе с полупроводниковым устройством.

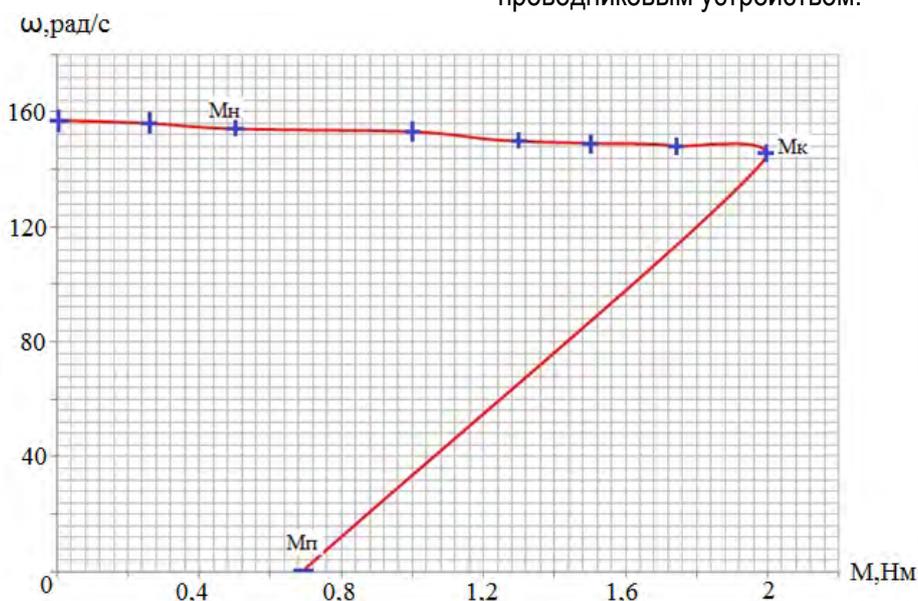


Рис. 20. Статическая механическая характеристика однофазного асинхронного электродвигателя при работе с полупроводниковым устройством

Как видно из графика на рисунке 20, пусковой момент (M_n) электродвигателя составляет 0,69 Нм, значение критического момента (M_k) – 1,98 Нм и развивается при угловой скорости в 142 рад/с, значение номинального момента 0,49 Нм развивается при угловой скорости в 154 рад/с.

Заключение

Разработана имитационная модель однофазного асинхронного электропривода сельскохозяйственной машины в Matlab Simulink. Приведено формализованное компьютерное представление несимметричной асинхронной машины. Показан поэтапный алгоритм построения модели. С помощью разработанной имитационной модели было произведено исследование работы однофазного асинхронного электропривода при использовании пускового и рабочего конденсаторов для питания двигателя, а также с полупроводниковым устройством регулирования скорости. Результатом исследования стали электромеханические характеристики однофазного двухобмоточного асинхронного электродвигателя с полупроводниковым устройством.

В результате сравнительного анализа полученных характеристик было выяснено, что пусковой момент (M_n) однофазного асинхронного электродвигателя при работе с полупроводниковым устройством составляет 202% от пускового момента при конденсаторном пуске, а критический момент (M_k) – 286% от критического момента при конденсаторном пуске. Таким образом, применение рассмотренного в статье полупроводникового устройства в электроприводе мобильных сельскохозяйственных машин и агрегатов целесообразно.

Библиографический список

1. Жигалов, Д. В. Электропривод в сельском хозяйстве / Д. В. Жигалов. – Текст: непосредственный // Электротехника. – 2016. – № 7. – С. 45-52.
2. Khalina, T. M., Stal'naya M. I., Eremochkin S. Y. Analysis of Characteristics of an Electric Drive with a Vector-Algorithmic Converter // Russian Electrical Engineering, 2018; 89(12):717-721.
3. Патент № 2613345 Российская Федерация. Полупроводниковое устройство регулирования скорости однофазного двухобмоточного асинхронного электродвигателя с явно выраженным звеном постоянного тока. – Заявл. № 2015157024, 29.12.2015; опублик. 16.03.2017, Бюл. № 8. – Текст: непосредственный.

4. Кацман, М. М. Электрические машины: учебник для студенческих учреждений среднего профессионального образования / М. М. Кацман. – 12-е изд. – Москва: Изд-кий центр «Академия», 2013. – 496 с. – Текст: непосредственный.

5. Терёхин, В. Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1) Т. 35: учебное пособие / В. Б. Терёхин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с. – Текст: непосредственный.

6. Шрейнер, Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с. – Текст: непосредственный.

7. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин: учебник по специальности «Электромеханика» / И. П. Копылов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 1994. – 317 с.: ил. – Текст: непосредственный.

8. Дьяконов, В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров / В. П. Дьяконов. – Москва: ДМК-Пресс, 2011. – 976 с. – ISBN 978-5-94074-897-7, 978-5-97060-345-1. – Текст: непосредственный.

9. Акопов, А. С. Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. С. Акопов. – Люберцы: Юрайт, 2016. – 389 с. – Текст: непосредственный.

10. Еремочкин, С. Ю. Реверсивный полупроводниковый коммутатор запуска трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя от однофазной сети / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов. – Текст: непосредственный // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы XVIII Международной научно-практической конференции (г. Орёл, 08-10 декабря 2020 года) / под редакцией А. Н. Качанова, Ю. С. Степанова. – Орёл: Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, 2020. – С. 43-48.

11. Грищенко, О. В. Электрические машины. Лабораторные работы: учебное пособие / О. В. Грищенко. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2017. – 112 с. – Текст: непосредственный.

12. Гурунян, Т. В. Электрические машины: машины переменного тока / Т. В. Гурунян. – Но-

воcибиpск: СиБАГС, 2017. – 190 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Zhigalov, D.V. Elektroprivod v selskom khoziaistve / D.V. Zhigalov // Elektrotehnika. – 2016. – No. 7. – S. 45–52.
2. Khalina, T.M., Stalnaya M.I., Eremochkin S.Y. Analysis of Characteristics of an Electric Drive with a Vector-Algorithmic Converter // Russian Electrical Engineering, 2018; 89 (12): 717-721.
3. Poluprovodnikovoe ustroistvo regulirovaniia skorosti odnofaznogo dvukhobmotochnogo asinkhronnogo elektrodvigatel'ia s iavno vyrazhennym zvenom postoiannogo toka: pat. No. 2613345 Ros. Federatsiia; zaiavl. No. 2015157024, 29.12.2015; opubl. 16.03.2017. Biul. No. 8.
4. Katsman, M.M. Elektricheskie mashiny: uchebnik dlia stud. uchrezhdenii. sred. prof. obrazovaniia. – 12-e izd. / M.M. Katsman. – Moskva: Izdatelskii tsentr «Akademiiia», 2013. – 496 s.
5. Terekhin V.B. Modelirovanie sistem elektroprivoda v Simulink (Matlab 7.0.1): T. 35 uchebnoe posobie / V.B. Terekhin; Natsionalnyi issledovatel'skii Tomskii politekhnicheskii universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2010. – 292 s.
6. Shreiner R.T. Matematicheskoe modelirovanie elektroprivodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovatel'iami chastoty. – Ekaterinburg: URO RAN, 2000. – 654 s.
7. Kopylov, I.P. Matematicheskoe modelirovanie elektricheskikh mashin: Ucheb. po spets. "Elektromekhanika" / I.P. Kopylov. – 2-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Vyssh. shk., 1994. – 317 s.: il.
8. Diakonov, V.P. MATLAB i SIMULINK dlia radioinzhenerov / V.P. Diakonov – Moskva: DMK-Press, 2011. – 976 s.
9. Akopov, A.S. Imitatsionnoe modelirovanie: uchebnik i praktikum dlia akademicheskogo bakalavriata / A.S. Akopov. – Liubertsy: Iurait, 2016. – 389 s.
10. Eremochkin, S.Iu. Reversivnyi poluprovodnikovyi kommutator zapuska trekhfaznogo asinkhronnogo korotkozamknutogo elektrod-vigatel'ia ot odnofaznoi seti / S.Iu. Eremochkin, D.V. Dorokhov // Energo- i resursosberezhenie – XXI vek: Materialy XVIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Orel, 08-10 dekabria 2020 goda / pod redaktsiei A.N. Kachanova, Iu.S. Stepanova. – Orel: Orlovskii gosudarstvennyi universitet imeni I.S. Turgeneva, 2020. – S. 43-48.
11. Grishchenko, O.V. Elektricheskie mashiny. Laboratornye raboty: uchebnoe posobie / O.V. Grishchenko. – Taganrog: Izd-vo TRTU, 2017. – 112 s.
12. Gurunian, T.V. Elektricheskie mashiny: mashiny peremennogo toka / T.V. Gurunian. – Novosibirsk: SibAGS, 2017. – 190 s.



УДК 636.033:631.223.6

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-216-10-100-107

В.В. Садов, Н.И. Капустин, П.А. Соколов

V.V. Sadv, N.I. Kapustin, P.A. Sokolov

ОБОСНОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ СВИНАРНИКА-МАТОЧНИКА НА ПРИМЕРЕ АО «АНТИПИНСКОЕ» АЛТАЙСКОГО КРАЯ

SUBSTANTIATION OF LOCAL SUPPLY VENTILATION FOR SWINE BREEDING HOUSE ON THE FARM OF THE AO "ANTIPINSKOE" OF THE ALTAI REGION

Ключевые слова: свиарник-маточник, микроклимат, общеобменная и локальная вентиляция, температурно-влажностный и газовый режим, групповое регулирование расхода воздуха.

Создание комфортных условий для животных в помещениях при промышленном производстве является сложной задачей особенно для молодого поколения. Большое значение имеет температурно-влажностный

режим, скорость воздуха и его газовый состав. Работа посвящена исследованию обеспечения микроклимата свиарника-маточника, где содержатся как взрослые, так и новорожденные поросята. Исследования выполнялись на базе АО «Антипинское» Алтайского края. В свиарнике-маточнике клетки изолированы, и потоки приточного воздуха проходят над клетками, что снижает эффективность использования приточного воздуха для обеспечения требуемого газового режима в зоне