

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ****DETERMINATION OF ACTIVE POWER OF ELECTRIC CONTACT DISINFECTION OF PREMIXED FEEDS**

**Ключевые слова:** *электроконтактный метод нагрева, обеззараживание кормов, тепловая обработка, аналоговый обработчик сигнала, активная мощность.*

Изложена методика измерения активной мощности, потребляемой электроконтактной установкой в процессе обеззараживания кормовых смесей. Отмечена актуальность в проведении на животноводческих предприятиях мероприятий по инактивации патогенной микрофлоры, присутствующей в кормах. Рассматривается возможность использования электроконтактной технологии, а также особенность ее применения, в рамках решения данной задачи. Описан механизм нагрева кормовой смеси электроконтактным методом. Представлена блок-схема измерительного комплекса с описанием, входящих в его состав элементов. Приведены принципиальные электрические схемы базовых блоков-преобразователей: аналогового первичного преобразователя, осуществляющего преобразование мгновенных значений тока и напряжения в сигналы пропорционального уровня, и аналогового обработчика сигналов, формирующего на выходе уровень напряжения прямо пропорциональный активной мощности. Предложена методика комплексного анализа активной составляющей мощности с применением компьютерной техники, включающая в себя как алгоритм исследования динамики изменения мощности в масштабе реального времени с возможностью отображения данных на экране монитора, так и алгоритм подсчета потребленной за определенный интервал времени мощности. Представлены уравнения для расчета основных параметров элементов, входящих в состав предлагаемого комплекса, таких как: коэффициенты усиления по напряжению операционных усилителей аналогового первичного преобразователя; коэффициент деления входного напряжения сигнала, совпадающего по фазе с фазой напряжения; коэффициент усиления операционного усилителя аналогового обработчика сигнала; коэффициент пропорциональности потребленной мощности к числу импульсов, поступивших на счетчик. Дано описание характеристик модуля аналого-цифрового преоб-

разователя в режиме работы, необходимом для согласования описанного измерительного комплекса с компьютером.

**Keywords:** *electric contact heating technique, feed disinfection, heat treatment, analog signal processor, active power.*

This paper discusses the procedure of measuring active power consumed by the electric contact unit during premixed feed disinfection. The topicality of the issue has been noted during the activities performed on animal farms aimed at inactivation of pathogenic microorganisms in the feeds. The possibility to using electric contact technique and its suitability as a solution to the issue has been considered. The paper describes the mechanism of heating premixed feeds by using electric contact technique. Measuring unit has been detailed along with its component parts in the flow chart. Electric wiring drawings of the basic conversion units have been drawn up: primary analog converter that converts instant current and voltage values into the proportionate signals, and analog signal processor generating at its output voltage level that is directly proportional to the active power. A technique has been proposed for complex analysis of the active component of power using computer technology which includes both an algorithm for studying the dynamics of power changes in real time with the ability to display data on a monitor screen, and an algorithm for calculating the power consumed over a certain time interval. The equations have been shown for calculating the basic parameters of the elements that make up the proposed complex such as voltage gain of the operational amplifiers of an analog primary converter; the division ratio of the input voltage of the signal that is in phase with the phase of the voltage; gain of the operational amplifier of an analog signal processor; coefficient of proportionality of power consumption to the number of pulses received at the counter. The paper describes the characteristics of the analog-to-digital converter module in the operating mode necessary for matching the described measuring complex with a computer.

**Халина Татьяна Михайловна**, д.т.н., проф., зав. каф. «Электротехника и автоматизированный электропривод», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: temf@yandex.ru.

**Khalina Tatyana Mikhaylovna**, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Electrical Engineering and Automatic Electric Drive, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: temf@yandex.ru.

**Халин Михаил Васильевич**, д.т.н., проф. каф. «Электротехника и автоматизированный электропривод», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: temf@yandex.ru.

**Дорожкин Максим Владимирович**, ст. преп. каф. «Электротехника и автоматизированный электропривод», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: temf@yandex.ru.

**Khalin Mikhail Vasilyevich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Electrical Engineering and Automatic Electric Drive, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: temf@yandex.ru.

**Dorozhkin Maksim Vladimirovich**, Asst. Prof., Chair of Electrical Engineering and Automatic Electric Drive, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: temf@yandex.ru.

### Введение

Для современных животноводческих предприятий подготовка кормов к скармливанию является важным мероприятием, напрямую влияющим на продуктивность сельскохозяйственных животных. Зараженные патогенной микрофлорой корма часто становятся причиной отравлений и различных болезней животных, нанося серьезный экономический ущерб [1, 2]. В настоящее время для снижения уровня бактериальной контаминации кормов применяется достаточно широкий круг методов. Многие из них в той или иной степени решают поставленную задачу, однако имеют ряд недостатков, которые ограничивают их широкое применение [1]. Как правило, основу многих технологий составляет дорогостоящее ресурсоемкое спецоборудование, приобретение которого применительно к малому и среднему бизнесу, особенно в условиях кризиса, оказывается нерентабельным.

### Объекты и методы

Для решения задач повышения энергоэффективности и снижения материалоемкости оборудования, следовательно, использование более доступных и недорогих способов обеззараживания кормов, необходима разработка инновационных технологий в этой области. Одним из таких направлений является метод электроконтактной (ЭК) деактивации микроорганизмов [1]. Суть метода заключается в объемном нагреве массы кормовой смеси за счет тепла, выделяемого в результате пропускания через обеззараживаемый продукт электрического тока. Это накладывает свои ограничения: данная технология не подходит для стерилизации сухих кормов, поскольку требует наличия электропроводной среды, но может широко использоваться при жидком кормлении, например, в свиноводстве [1, 3].

В процессе нагрева кормовой смеси в ЭК-установке электрическая проводимость среды изменяется и, следовательно, меняется и энергопотребление [4-6]. В связи с этим для повышения энергоэффективности ЭК-метода требуется проводить непрерывные измерения и анализ показателей активной мощности, потребляемой установкой, с возможностью визуального отображения получаемых данных и их сохранения в электронном виде, используя, например, дисковое пространство пользовательского компьютера.

### Экспериментальная часть

Электрическая часть предлагаемого устройства включает в себя: источник питания (ИП) промышленной частоты, напряжением 220 В; диэлектрическую камеру (ДК) ЭК-установки с электродами; аналоговый первичный преобразователь (АПП); аналоговый обработчик сигнала (АОС); генератор управляемый напряжением (ГУН); счетчик импульсов (СИ); аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с универсальной последовательной шиной типа USB; пользовательский компьютер (ПК), имеющий в составе параллельный интерфейс, программное обеспечение (ПО) и запоминающее устройство (ЗУ) (рис. 1).

Работа базовых блоков установки обеззараживания основана на измерении динамики изменения активной составляющей мощности в цепи питания камеры ЭК-нагрева кормовой смеси [1, 4].

Функция аналогового первичного преобразователя, электрическая схема которого представлена на рисунке 2, заключается в формировании сигналов  $U_x(t)$  и  $U_y(t)$ , пропорциональных мгновенным значениям тока и напряжения [7, 8].

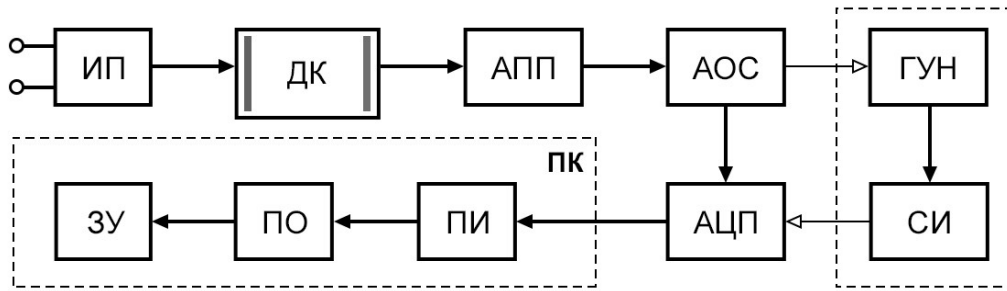


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной электроустановки

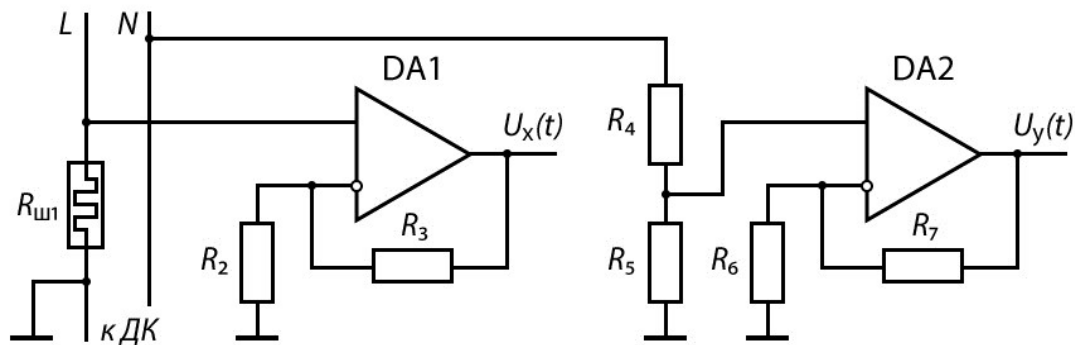


Рис. 2. Электрическая схема аналогового первичного преобразователя

Уровень сигнала  $U_y(t)$ , совпадающего по фазе с фазой напряжения, определяется отношениями сопротивлений  $R_4$  и  $R_5$  делителя напряжения. Потенциал второго сигнала  $U_x(t)$ , фаза которого идентична фазе тока, формируется за счет падения напряжения, вызванного сопротивлением шунта  $R_{ш1}$ . Коэффициенты усиления по напряжению операционных усилителей DA1 и DA2 определяются, соответственно, из соотношений [7]:

$$k_{U1} = \frac{R_2 + R_3}{R_3} \text{ и } k_{U2} = \frac{R_6 + R_7}{R_7}. \quad (1)$$

Сформированные сигналы  $U_x(t)$  и  $U_y(t)$  подаются на мультипликативные входы четырехквадрантного перемножителя, в котором реализуется передаточная функция [7, 9]:

$$U = k_m \cdot U_x(t) \cdot U_y(t), \quad (2)$$

где  $k_m$  – коэффициент масштабирования.

Сигналы  $U_x(t)$  и  $U_y(t)$  определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} U_x(t) &= k_{U1} \cdot R_{ш1} \cdot i = \\ &= k_{U1} \cdot R_{ш1} \cdot I_m \sin(\omega t + \varphi) = U_{xm}; \\ U_y(t) &= k_D \cdot k_{U1} \cdot U_m \sin \omega t = \\ &= U_{ym} \sin \omega t, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\varphi$  – угол сдвига фаз напряжения и тока;

$R_{ш1}$  – сопротивление шунта,

$k_D = \frac{R_5}{R_4 + R_5}$  – коэффициент деления входного напряжения.

Полученную формулу (2) с учетом (3) можно привести к виду:

$$U = U_{xm} \sin(\omega t + \varphi) \cdot U_{ym} \sin \omega t$$

или

$$U = \frac{1}{2} U_{xm} \cdot U_{ym} \cos(2\omega t + \varphi) + U_{ym} \cos \varphi. \quad (4)$$

Первое слагаемое в формуле (4) характеризует высокочастотную часть сигнала, которая равна мгновенной величине реактивной мощности с частотой вдвое большей частоты питающего напряжения. Второе слагаемое описывает низкочастотную составляющую, которая при учете постоянства амплитуд является константой, пропорциональной активной мощности [7].

Электрическая схема аналогового обработчика сигнала, предназначенного для получения информации о значении активной мощности при ЭК-методе обеззараживания кормовых смесей, представлена на рисунке 3.

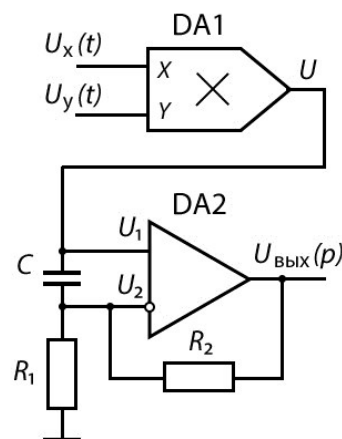


Рис. 3. Электрическая схема аналогового обработчика сигнала

Устройство работает следующим образом. При подаче сигнала

$$U_1 = U = \frac{1}{2} U_{xm} \cdot U_{ym} \cos(2\omega t + \varphi) + \frac{1}{2} U_{xm} \cdot U_{ym} \cos \varphi,$$

с выхода четырехквadrантного перемножителя DA1 на прямой вход операционного усилителя DA2, а сигнала

$$U_2 = \frac{1}{2} U_{xm} \cdot U_{ym} \cos(2\omega t + \varphi),$$

на инвертирующий вход через разделительный конденсатор С получим на выходе усилителя DA2, обеспечивающего фильтрацию высокочастотной составляющей, сигнал:

$$U_{\text{вых}}(p) = k_U (U_1 - U_2). \quad (5)$$

При равенстве сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  цепи обратной связи коэффициент усиления  $k_U$  усилителя DA2 равен 2, тогда, подставив соответствующие значения напряжений  $U_1$  и  $U_2$  в уравнение (5), получим:

$$U_{\text{вых}}(p) = 2 \left[ \frac{1}{2} U_{xm} \cdot U_{ym} \cos \varphi + \frac{1}{2} U_{xm} \cdot U_{ym} \cos(2\omega t + \varphi) - \frac{1}{2} U_{xm} \cdot U_{ym} \cos(2\omega t + \varphi) \right]$$

или

$$U_{\text{вых}}(p) = U_{xm} \cdot U_{ym} \cos \varphi, \quad (6)$$

что соответствует активной составляющей мощности.

Сигнал  $U_{\text{вых}}(p)$  с выхода операционного усилителя DA2 поступает на вход АЦП, в качестве которого применен 10 битный двухканальный аналого-цифровой преобразователь модуля VM8020, построенный на базе сверхбыстродействующего микроконтроллера C8051F321 с полноскоростным USB [7]. Данный АЦП в режиме самописца поддерживает работу с непрерывными сигналами частотой до 100 кГц и входным напряжением в диапазоне от -20 до +20 В, а также обеспечивает ведение записи данных во flash-память до 24 ч. Дискретный набор данных через последовательный интерфейс передается на ПК, где посредством специализированного ПО осуществляется дальнейшая постобработка.

Второй канал АЦП предназначен для определения величины потребленной активной мощности за определенный временной интервал. Для этого предусмотрено включение в электрическую цепь генератора (ГУН) релаксационного типа и суммирующего счетчика импульсов [10].

В результате того, что напряжение на выходе блока АОС изменяется пропорционально изменению активной составляющей мощности, частота импульсов, выдаваемая блоком ГУН, будет напрямую коррелировать с ее текущим значением, то есть рост потребляемой мощности приведет к росту частоты импульсов, и наоборот.

Синхронно с началом активации процесса ЭК-нагрева кормовой смеси управляющий сигнал инициирует запуск программного таймера, роль которого заключается в подсчете времени работы установки. Сигналы с ГУН поступают на СИ, который по запросу выдает суммарное количество импульсов, переданных генератором с момента начала работы установки (рис. 1) [10]. Их сумма будет отражать величину потребленной мощности в соответствии с выражением:

$$P = k_{\Pi} \cdot \sum_{i=1}^m n_i, \quad (7)$$

где  $k_{\Pi} = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{n}$  – коэффициент пропорциональности;

$n$  – число импульсов.

К концу выбранного периода происходит запись в память компьютера числа импульсов, поступивших на СИ за время работы таймера, что с учетом (7) позволяет автоматически получить значение активной мощности.

### Заключение

Комплексный анализ активной мощности предложенным способом с возможностью своеговременного отображения на экране монитора считываемой информации дает возможность более детально исследовать динамику ее изменения и выбрать энергоэффективный технологический режим. Это необходимо как для выявления особенностей технологического процесса обеззараживания кормовых смесей ЭК-методом, так и для решения задач по управлению различными технологическими параметрами в масштабе реального времени.

### Библиографический список

1. Дорожкин, М. В. Обеззараживание комбинированных кормов электроконтактным способом / М. В. Дорожкин, Т. М. Халина, М. В. Халин. – Текст: непосредственный // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. – 2019. – С. 170-174.
2. Бакулов, И. А. Эпизоотология с микробиологией: учебник по специальности «Ветерина-



рия» / И. А. Бакулов, Е. И. Буткин, В. А. Ведерников, Г. Г. Юрков]; под редакцией И. А. Бакулова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 414 с. – Текст: непосредственный.

3. Torres-Pitarch, A. et al. (2020). Effect of cereal soaking and carbohydrase supplementation on growth, nutrient digestibility and intestinal microbiota in liquid-fed grow-finishing pigs. *Scientific Reports*. 10. 10.1038/s41598-020-57668-6.

4. Дорожкин, М. В. Обоснование выбора параметров питания камеры ЭК-выпечки хлеба / М. В. Дорожкин, Б. С. Первухин. – Текст: непосредственный // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 194-196.

5. Коротких, В. М. Оценка энергоэффективности электроконтактной технологии выпечки хлеба / В. М. Коротких. – Текст: непосредственный // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы докладов шестнадцатой Всероссийской научно-практической конференции. – Томск: Изд-во ТГУ, 2010. – С. 146-148.

6. Khalina T.M. Calculation of electrical conductance between the electrode system in a composite electric heater // *Electrical Technology Russia*. -2003. -№4. -P. 43-57.

7. Коротких, В. М. Определение функциональных связей энергетических воздействий при создании электротехнологий сельскохозяйственного назначения, использующих механоактивацию и трение / В. М. Коротких. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/1. – С. 183-187.

8. Панфилов, В. А. Электрические измерения: учебник для студ. учреждений среднего профессионального образования / В. А. Панфилов. – 8-е изд., испр. – Москва: Изд-кий центр «Академия», 2013. – 288 с. – Текст: непосредственный.

9. Boonchu, B. (2018). Low-Voltage Low-Power Sub-Threshold CMOS Four-Quadrant Analogue Multiplier. 1-4. 10.1109/IEECON.2018.8712182.

10. Коротких, В. М. Четырехквadrантные перемножители в датчиках преобразования активной мощности в частоту / В. М. Коротких, М. А. Гумиров. – Текст: непосредственный // Датчики электрических и неэлектрических величин. – 1995.

## References

1. Dorozhkin M.V., Khalina T.M., Khalin M.V. Obezrazhivanie kombinirovannykh kormov elektrokontaktным способом / M.V. Dorozhkin, T.M. Khalina, M.V. Khalin // *Energo- i resursosberezhenie – XXI vek.* – 2019. – S. 170-174.

2. Bakulov I.A. Epizootologiya s mikrobiologiyey: [Ucheb. po spets. «Veterinariya» / I.A. Bakulov, E.I. Butkin, V.A. Vedernikov, G.G. Yurkov]; pod red. I.A. Bakulova. – 3-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Agropromizdat, 1987. – 414 s.

3. Torres-Pitarch, A. et al. (2020). Effect of cereal soaking and carbohydrase supplementation on growth, nutrient digestibility and intestinal microbiota in liquid-fed grow-finishing pigs. *Scientific Reports*. 10. 10.1038/s41598-020-57668-6.

4. Dorozhkin M.V., Pervukhin B.S. Obosnovanie vybora parametrov pitaniya kamery EK-vypechki khleba / M.V. Dorozhkin, B.S. Pervukhin // *Zhurnal Polzunovskiy almanakh.* – 2016. – No. 2. – S. 194-196.

5. Korotkikh V.M. Otsenka energoeffektivnosti elektrokontaktной технологии vypechki khleba / V.M. Korotkikh // *Materialy dokladov shestnadtsatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Energetika: ekologiya, nadezhnost, bezopasnost».* – Tomsk: Izd-vo TGU, 2010. – S. 146-148.

6. Khalina T.M. Calculation of electrical conductance between the electrode system in a composite electric heater // *Electrical Technology Russia.* – 2003. – No. 4. – P. 43-57.

7. Korotkikh V.M. Opredelenie funktsionalnykh svyazey energeticheskikh vozdeystviy pri sozdanii elektrotekhnologiy selskokhozyaystvennogo naznacheniya, ispolzuyushchikh mekhanoaktivatsiyu i trenie / V.M. Korotkikh // *Polzunovskiy vestnik.* – 2011. – No. 2/1. – S. 183-187.

8. Panfilov V.A. Elektricheskie izmereniya: uchebnik dlya stud. uchrezhdeniy sred. prof. obrazovaniya / V.A. Panfilov. – 8-e izd., ispr. – Moskva: Izdatelskiy tsentr «Akademiya», 2013. – 288 s.

9. Boonchu, B. (2018). Low-Voltage Low-Power Sub-Threshold CMOS Four-Quadrant Analogue Multiplier. 1-4. 10.1109/IEECON.2018.8712182.

10. Korotkikh V.M., Gumirov M.A. Chetyrekhkvadrantnye peremnozhiteli v datchikakh preobrazovaniya aktivnoy moshchnosti v chastotu / V.M. Korotkikh, M.A. Gumirov // *Datchiki elektricheskikh i neelektricheskikh velichin.* – 1995.

