

References

1. Tarushkin V.I. Rezonansnye protsessy v tsepi pitaniya dielektricheskogo separatora semyan [Resonant processes in the supply chain of a dielectric seed separator] / V.I. Tarushkin, A.P. Kozlov // Machinery in Agriculture. 2003. № 2. Pp. 40–47.
2. Tamm I.Ye. Osnovy teorii elektrichestva [Basics of the theory of electricity]. М.: Nauka, 1960. 624 p.
3. Tarushkin V.I. Elektricheskaya emkost' bifilyarnoy obmotki dielektricheskogo separatora semyan [Electrical capacity of a bifilar winding of a dielectric seed separator] / V.I. Tarushkin, A.P. Kozlov // Agricultural Science. 2002. № 10. Pp. 22–25.
4. Basov A.M. Elektrozernoochistitel'nye mashiny: teoriya, konstruksii i raschet [Electric grain cleaning machines: theory, design and calculation] / A.M. Basov, F.Ya. Izakov, V.N. Shmichel and others. // Mashinostroenie. 1968. 203 p.
5. Klenin N.I. Sel'skokhozyaystvennye mashiny: elementy teorii rabochikh protsessov, raschet regulirovochnykh parametrov i rezhimov raboty [Agricultural machines: Elements of the theory of working processes, the calculation of control parameters and operating modes] / N.I. Klenin, I.F. Popov, V.A. Sakun. М.: Kolos, 1990. 456 p.

Received on June 14, 2016

УДК 621.3.029.6

АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент¹

E-mail: asa-finance@yandex.ru

ЗАГИНАЙЛОВ ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: energo-viz@mail.ru

ВОРОБЬЕВ ВИКТОР АНДРЕЕВИЧ, докт. техн. наук профессор¹

E-mail: tatiana49@mail.ru

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В СВЧ-УСТАНОВКАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Эффективность многих сельскохозяйственных технологических процессов может быть существенно повышена за счет использования энергии сверхвысокочастотного (СВЧ) электромагнитного поля. Широкое внедрение СВЧ-техники в производство существенно сдерживается ее низкой надежностью. Одной из основных причин, вызывающей выход из строя СВЧ-генераторов, является аварийный режим, возникающий при включении оборудования с незагруженной рабочей камерой. Автоматическое распознавание аварийных режимов является непростой задачей, поскольку основные электрические параметры СВЧ-генераторов при включении с незагруженной рабочей камерой не меняются. Рассмотрены три новых способа распознавания аварийных режимов и их технические реализации. Первый способ основан на выявлении аварийных режимов по форме кривой тока в цепи питания магнетрона. Для реализации этого способа предложено использовать полосовые фильтры в совокупности с аналоговыми или цифровыми устройствами обработки информации. Второй способ заключается в измерении низкочастотного излучения СВЧ-генераторов, которое существенно увеличивается при возникновении аварийных режимов. При использовании этого способа не требуется вносить изменения в схемы СВЧ-генераторов, что делает его легко реализуемым на любых СВЧ-установках с объемными резонаторами. Третий способ предполагает постоянный автоматический контроль за электрической емкостью рабочей камеры, которая зависит от на-

личия обрабатываемых продуктов. Этот способ позволяет избежать аварийных режимов, поскольку при его реализации ошибочного включения СВЧ-генераторов не происходит. Сделан вывод о целесообразности выбора наиболее эффективного способа предотвращения аварийных режимов по особенностям эксплуатации и техническим характеристикам СВЧ-установок.

Ключевые слова: СВЧ-генератор, аварийный режим, магнетрон, устройство защиты, форма кривой тока, полосовой фильтр, низкочастотное излучение, электрическая емкость рабочей камеры.

Введение. Эффективность многих сельскохозяйственных технологических процессов может быть существенно повышена за счет использования энергии сверхвысокочастотного (СВЧ) электромагнитного поля. СВЧ-энергия успешно применяется для интенсивного нагрева различных веществ, в процессах сушки, экстрагирования, разрушения сельскохозяйственных материалов, а также для биологического угнетения или стимуляции [1].

Широкое внедрение СВЧ-техники существенно сдерживается ее невысокой надежностью, проявляющейся в выходе из строя магнетрона при включении с незагруженной рабочей камерой. Такой режим работы для СВЧ-устройств является аварийным, поскольку генератор работает в несогласованном режиме. Самый неблагоприятный исход аварийного режима заключается в возникновении обратной волны, которая вызывает перегрев и последующее разрушение катода.

Причиной аварийных режимов обычно бывают ошибочные действия оператора, который выполняет монотонные операции, устает и допускает нарушения технологии. К сожалению, аварийные режимы не сопровождаются какими-то легко заметными проявлениями: звуками, высокой температурой, дымом и т.п. Вследствие этого оператор обычно узнает о возникновении аварийной ситуации уже после СВЧ-обработки очередной порции продукта. Именно поэтому вопрос автоматического распознавания аварийных режимов является актуальным.

Цель исследований – поиск информативных признаков аварийных режимов СВЧ-генераторов и разработка эффективных устройств защиты.

Материалы и методы. Материалами исследований послужили осциллограммы кривых тока в цепи анодного питания магнетрона, результаты замеров электрической емкости внутри рабочей камеры, а также уровень низкочастотного излучения в окрестности СВЧ-генератора. В качестве методов исследований использован эксперимент в сочетании с физическим моделированием.

Результаты и обсуждение. Многочисленные попытки выявить какой-либо электрический параметр, существенно зависящий от режима работы СВЧ-генератора, к положительному результату не привели: при возникновении аварийного режима ток в цепи питания магнетрона не меняется, напряжение и коэффициент мощности остаются постоянными, реактивные и полные значения мощности изменений не претерпевают. В то же время было обнаружено, что аварийный режим определяет искажение формы кривой тока в цепи анодного

питания магнетрона. На рисунке 1 представлены осциллограммы тока при нормальном и аварийном режимах.

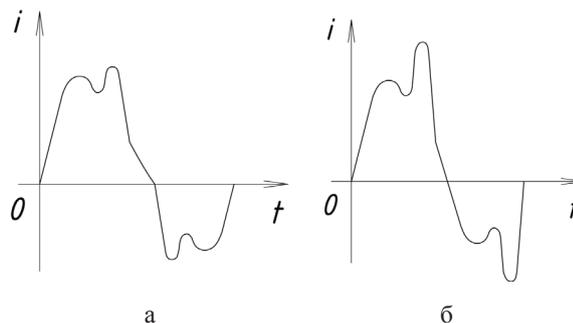


Рис. 1. Осциллограммы кривой тока в цепи анодного питания магнетрона при нормальном (а) и ручном (б) режимах работы СВЧ-генератора

Из представленных осциллограмм видно, что кривая тока в аварийном режиме на каждом полупериоде приобретает явно выраженный двухвершинный характер. Для объяснения этого явления рассмотрим схему питания магнетрона, используемую в большинстве СВЧ-генераторов малой мощности (рис. 2а).

На вторичной обмотке трансформатора T между точками A и B образуется переменное напряжение с действующим значением 220 В. Допустим, в начальный момент времени ЭДС на вторичной обмотке трансформатора имеет направление, показанное стрелкой. При этом ток проходит через конденсатор C , шунтирующее его сопротивление R и полупроводниковый диод VD . Одновременно конденсатор C заряжается, приобретая ЭДС встречного направления по отношению к ЭДС вторичной обмотки трансформатора. Поскольку ЭДС трансформатора изменяется по синусоидальному закону, форма кривой тока, протекающего через конденсатор C , становится довольно сложной: на первом этапе имеет место экспоненциальное нарастание (участок OM на рисунке 2б), затем спад, обусловленный уменьшением амплитуды питающего напряжения (участок MN), и вторичное нарастание, определяемое дальнейшим изменением питающего напряжения и противодействием ЭДС конденсатора (участок NK).

При противоположном направлении ЭДС на вторичной обмотке трансформатора ток проходит через конденсатор C и магнетрон VL . При этом анодное напряжение U_{VD} практически удваивается, поскольку направления ЭДС трансформатора и

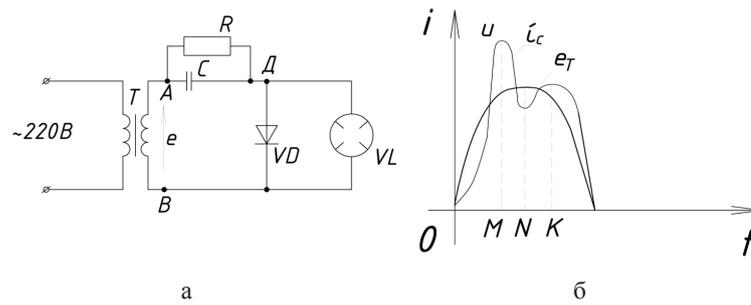


Рис. 2. Упрощенная принципиальная электрическая схема цепи питания магнетрона (а) и зависимости мгновенных значений питающего тока и напряжения от времени (б)

заряда конденсатора совпадают. Поскольку работа магнетрона осуществляется на объемный резонатор, можно предположить, что наряду с энергетическим воздействием СВЧ-энергии на обрабатываемую нагрузку последняя также влияет на режим работы генератора. В самом деле, изменение степени поглощения электромагнитной энергии должно сказаться на условиях обратной бомбардировки катода и вызвать изменение отклонения комплексного сопротивления системы «Магнетрон-нагрузка».

Без количественного анализа изучаемого процесса трудно судить о степени зависимости характеристик магнетрона от нагрузки. Однако очевидно, что любое изменение комплексного сопротивления лампы между точками B и D вызовет изменение ус-

ловий разряда конденсатора, что повлияет на форму анодного тока.

Рассмотрим схему замещения магнетрона в совокупности с блоком питания, представленную на рисунке 3а. В этой схеме индуктивности L_1 и L_2 , а также сопротивления R_1 и R_2 определяют рассеяние на первичной и вторичной обмотках трансформатора T , а взаимоиנדуктивность M и активное сопротивление R_B – потери в стали на намагничивание. Конденсатор C и полупроводниковый диод VD являются реальными элементами исходной схемы. Магнетрон представлен в виде активного сопротивления R_D . В результате преобразования и упрощения конструкции получим новую схему замещения, представленную на рисунке 3б.

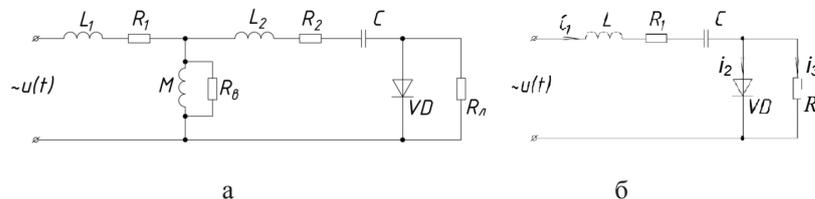


Рис. 3. Схемы замещения магнетрона с блоком питания

Для установления зависимости формы кривой анодного тока i_1 от сопротивления магнетрона (эквивалентного сопротивления R_2) рассмотрим динамику основных электрических величин:

$$\begin{cases} L \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 + \frac{1}{C} \int i_1 dt + u_{VD} = u(t) \\ L \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 + \frac{1}{C} \int i_1 dt + R_2 i_3 = u(t) \\ i_1 = i_2 + i_3 \end{cases} \quad (1)$$

В первом уравнении системы (1) u_{VD} представляет собой величину мгновенного значения напряжения на диоде VD . Известно, что вольт-амперная характеристика полупроводникового диода является нелинейной и имеет вид, представленный на рисунке 4а. Наиболее точной и до-

статочно простой аппроксимацией нелинейной характеристики диода является выражение вида $i = ue^u$. Однако слагаемое в первом уравнении системы (1) должно выражать напряжение, поэтому запись Вольт-Амперной характеристики диода следует представить в виде $u = e^i$. Последняя зависимость не претендует на точное количественное описание нелинейности. Однако она достоверно иллюстрирует принцип однополупериодного выпрямления.

При моделировании процесса, описываемого уравнениями системы (1) на аналого-цифровом компьютере «Экстрема», производились наблюдения за изменением кривой тока при варьировании значением R_2 от 0 до 1. В результате на экране осциллографа были получены экспериментальные осциллограммы, представленные на рисунке 4б [2]. Анализ осциллограмм позволил принять утвержде-

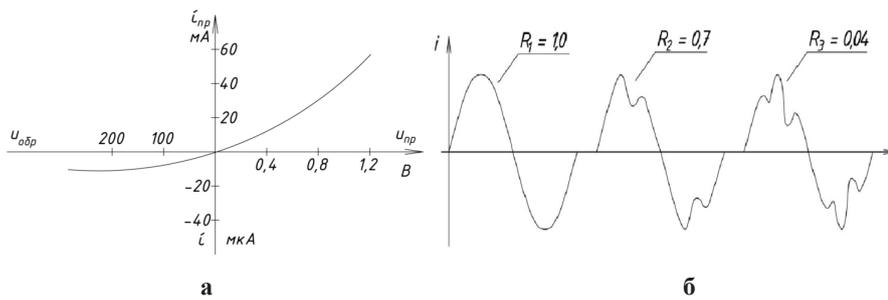


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика диода и экспериментальные осциллограммы кривых анодного тока

ние о влиянии нагрузки на режим работы магнетрона и сделать вывод о наличии зависимости между сопротивлением магнетрона и формой анализируемой кривой.

Поскольку кривая анодного тока является периодической и несинусоидальной, ее аналитическое изображение может быть представлено тригонометрическим рядом Фурье:

$$i(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + A_n \sin(n\omega t + \varphi_n) = \sum_{i=0}^n A_i \sin(i\omega t + \varphi_i),$$

где A_i и φ_i – амплитуда и фаза i -й гармонической составляющей соответственно; ω – частота первой гармонической составляющей; t – время; n – количество гармонических составляющих при выбранной глубине разложения.

В результате гармонического анализа было установлено, что искажение формы кривой тока в ос-

новном определяется изменением амплитуд первых нечетных гармоник. По величинам изменения этих гармоник при переходе от нормального режима работы к аварийному был сделан вывод о наибольшей информативности пятой гармонической составляющей [3, 4].

Выделяя пятую гармонику с помощью фильтра, удалось получить достаточно информативный параметр степени загрузки рабочей камеры. На основе принципа выделения и последующего усиления пятой гармоники было разработано автоматическое отключающее устройство [5], обеспечивающее немедленное отключение питания СВЧ-генератора при его включении без нагрузки. В последующем это устройство претерпело ряд изменений, направленных на повышение чувствительности, снижение вероятности ошибочного срабатывания и снижения зависимости от внешних факторов [6–8]. Принципиальная электрическая схема установки для СВЧ-обработки на серийном генераторе КБН-82 с одним из таких устройств представлена на рисунке 5.

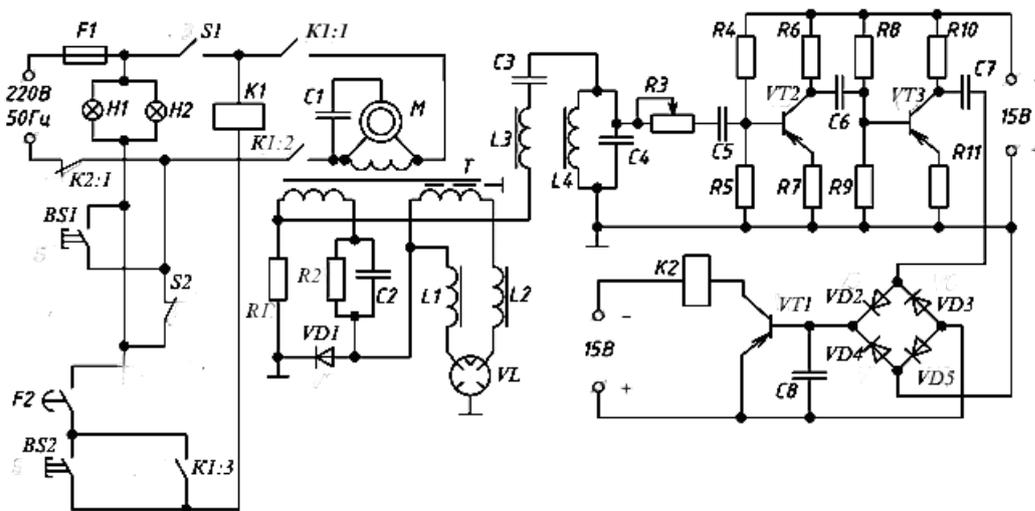


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема СВЧ-установки с устройством защиты от аварийных режимов

Установка для СВЧ-обработки содержит микроволновый генератор на магнетроне *V2*, полосовой фильтр на частоту 250 Гц, собранный на катушках индуктивности *L3* и *L4* и конденсаторах *C3* и *C4*, а также усилитель на полупроводниковых триодах *VT2* и *VT3*. К выходу усилителя подсоединена катушка реле *K2*, размыкающие контакты которого установлены в цепи питания генератора. При возникновении аварийного режима форма кривой тока в цепи питания магнетрона *V1* искажается, на выходе полосового фильтра появляется сигнал, который усиливается и вызывает срабатывание реле *K2*. Контакты этого реле размыкаются, и цепь питания магнетрона обесточивается.

Для устранения влияния пульсаций информативного сигнала, а также для обеспечения возможности регулирования порога срабатывания устройства защиты было предложено новое схемное решение [9], в котором использовались сглаживающий фильтр и электронный компаратор. С целью исключения ложных срабатываний устройства защиты при непрогретом магнетроне схема последующей разработки была дополнена датчиком температуры и буферным каскадом [10]. Следующим шагом на пути повышения надежности срабатывания устройств защиты явилось использование цифрового принципа обработки информативных сигналов [11–13] (рис. 6).

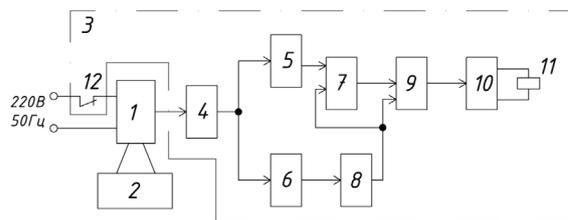


Рис. 6. Функциональная схема установки для СВЧ-обработки с импульсным устройством защиты

Техническое решение, реализующее этот принцип, содержит СВЧ-генератор 1, сочлененную с ним рабочую камеру 2 и устройство защиты 3, соединенное с цепью питания СВЧ-генератора. Устройство защиты 3 состоит из двухполупериодного выпрямителя 4 и подсоединенных к его выходу анализатора 5 формы кривой тока и датчика 6 периодических колебаний. К выходу анализатора 5 формы кривой тока подключен первый счетчик 7 импульсов, а к выходу датчика 6 периодических колебаний – второй счетчик 8 импульсов. Выход второго счетчика 8 импульсов подключен ко входу «Сброс» первого счетчика 7 импульсов, а выход первого счетчика 7 импульсов – ко входу триггера 9. Выход триггера 9 соединен с усилителем 10, а его выход – с катушкой реле 11. Размыкающие контакты 12 этого реле установлены в цепи питания. Анализатор 5 формы кривой тока предназначен для

автоматического распознавания аварийного режима по форме поступающего на его вход сигнала и представляет собой дифференциальный усилитель.

Поскольку емкость накопления импульсов (коэффициент пересчета) второго счетчика 8 импульсов в 1,2...1,3 раза больше емкости первого, появление сигнала на выходе первого счетчика 7 импульсов возможно только в том случае, если на его вход поступят импульсы в количестве, не меньшем 70...80% от количества импульсов, поступивших на вход второго счетчика 8 импульсов. Такое решение практически полностью исключает ложное срабатывание устройства защиты и существенно повышает достоверность распознавания аварийных режимов.

Следует признать, что все вышеперечисленные устройства защиты необходимо включать в разрыв цепи питания СВЧ-генераторов, что не всегда удобно, технологично и безопасно. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на поиск способов распознавания аварийных режимов без электрической связи со схемой СВЧ-установки.

В процессе экспериментальной работы с СВЧ-генераторами было замечено, что при возникновении аварийного режима повышается уровень низкочастотного излучения вне рабочей камеры (в окрестности магнетрона, а точнее – в окрестности цепи его питания). При этом в зависимости от места расположения измерителя уровень излучения может меняться на 40...50%. При питании магнетрона однополярным выпрямленным напряжением частота рассеянного излучения в основном соответствует третьей и пятой гармоникам, и в меньшей степени – первой гармонике. Обнаруженное явление оказалось достаточно стабильным и вполне пригодным для построения на его основе устройств защиты СВЧ-генераторов от аварийных режимов. Ряд разработанных и испытанных устройств защиты продемонстрировал удовлетворительные показатели, которые определили возможность использования этих устройств в СВЧ-установках широкого назначения [14].

Принцип действия последней разработки основывается на зависимости электрической емкости пространства рабочей камеры от находящихся в ней продуктов. Для реализации этого принципа необходимо либо разместить в рабочей камере соответствующие электроды, либо использовать в качестве электродов металлический корпус камеры, разделив ее на две части и обеспечив электрическую изоляцию этих частей друг от друга. Если принимать во внимание соображения техники безопасности, расстояние между торцами рабочей камеры по линии ее разреза не должно превышать четверти длины волны СВЧ-излучения. Для распространенной частоты 2450 МГц длина волны составляет 0,12 м. Следовательно, максимально допустимое расстояние между совмещенными частями рабочей камеры не должно превышать 0,031 м.

Совмещенные части рабочей камеры образуют электрический конденсатор с емкостью, значение

которой зависит от диэлектрических параметров внутреннего пространства. Последовательно с этим конденсатором включается дополнительная катушка индуктивности и дополнительный генератор. Индуктивность катушки составляет значение, определяющее возникновение резонанса напряжений в цепи последовательно соединенных с ней частями рабочей камеры при отсутствии в ней обрабатываемых продуктов. При частоте переменного напряжения, вырабатываемого высокочастотным генератором 630 кГц, и значении электрической емкости, образуемой между частями рабочей камеры при отсутствии в ней продуктов 20 пФ, значение индуктивности катушки определяется условием

$$\omega L = \frac{1}{\omega C},$$

где $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 30 \cdot 10^3 = 18,8$ кГц,

откуда

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(18,8 \cdot 10^2)^2 \cdot 20 \cdot 10^{-12}} = 1,41 \text{ Гн.}$$

При отсутствии нагрузки в рабочей камере диэлектрическая проницаемость среды меняется, что влечет за собой изменение электрической емкости естественного конденсатора. В цепи возникает резонанс, а напряжение на катушке индуктивности резко возрастает. Это напряжение является информативным сигналом, который усиливается и подается на катушку реле. Размыкающие контакты этого реле установлены в цепи питания СВЧ-генератора и отключают питающее напряжение при возникновении аварийного режима.

Выводы

1. Режим включения установки для СВЧ-обработки при отсутствии продуктов в рабочей камере является аварийным, приводящим к перегреву катода магнетрона и выходу его из строя.
2. Автоматическое распознавание аварийных режимов может осуществляться по форме кривой тока в цепи анодного питания магнетрона.
3. Техническую реализацию анализа формы кривой тока целесообразно осуществлять посредством полосовых фильтров пятой гармонической составляющей.
4. Для повышения надежности срабатывания устройства защиты СВЧ-генератора от аварийных режимов, а также для исключения ложных срабатываний обработка информативного сигнала должна осуществляться в импульсной форме.
5. Получение информации об аварийных режимах без подключения устройства защиты в высоковольтную цепь питания СВЧ-генератора может быть осуществлено по уровню низкочастотного излучения в окрестности магнетрона, а также по

значению электрической емкости, образующейся между электродами, охватывающими внутреннее пространство рабочей камеры.

Библиографический список

1. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве / И.Ф. Бородин, Г.А. Шарков, А.Д. Горин. М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. 53 с.
2. Андреев С.А. Моделирование режимов работы микроволнового генератора: автоматика и вычислительная техника в сельскохозяйственном производстве // Сборник научных трудов МИИСП. М.: МИИСП, 1990. С. 2–28.
3. Андержанов А.Л., Андреев С.А., Пипко А.И. Выбор гармонической составляющей для контроля режима работы СВЧ-генератора: моделирование и автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства // Сборник научных трудов МИИСП. М.: МИИСП, 1987. С. 58–61.
4. Шарков Г.А., Андреев С.А. Исследование зависимости параметров цепи питания СВЧ-генератора от нагрузки: электроавтоматизация в сельских установках // Сборник научных трудов МИИСП. М.: МИИСП, 1985. С. 12–16.
5. Авторское свидетельство № 1232157 СССР МКИ А 01 С 1/00: Установка для СВЧ-обработки / И.Ф. Бородин, Г.А. Шарков, С.А. Андреев. 3828665/30–15; заявл. 05.11.1984 г.; опубл. 23.05.1986 г. Бюл. № 19.
6. Шарков Г.А., Пипко А.И., Андреев С.А. Автоматическая защита источников СВЧ энергии от аварийных режимов: применение СВЧ энергии в энергосберегающих технологических процессах // Тезисы докладов Пятой научно-технической конференции. Саратов: Саратовский политехнический институт, 1986. С. 13–14.
7. Бородин И.Ф., Шарков Г.А., Андреев С.А. Повышение надежности установок для СВЧ-обработки сельскохозяйственных продуктов: автоматика и вычислительная техника в сельскохозяйственном производстве // Сборник научных трудов МИИСП. М.: МИИСП, 1986. С. 3–6.
8. Бородин И.Ф., Шарков Г.А., Андреев С.А., Андержанов А.Л., Пипко А.И., Буров А.С. Устройство защиты микроволнового генератора от аварийных режимов: Вузовская наука – производству // Научно-технические разработки института, используемые агропромышленным комплексом страны: Сборник МИИСП. М.: МИИСП, 1988. С. 52–54.
9. Авторское свидетельство № 1459620 СССР МКИ А 01 С 1/00. Установка для СВЧ-обработки / С.А. Андреев, А.Л. Андержанов, А.С. Буров, А.И. Пипко. 4221970/30–15; заявл. 06.04.1987 г.; опубл. 23.02.1989 г. Бюл. № 7.
10. Авторское свидетельство № 1475509 СССР МКИ А 01 С 1/00. Установка для СВЧ-обработки / А.И. Пипко, А.С. Прокудин, В.С. Юрков, А.С. Буров, А.Л. Андержанов, С.А. Андреев, Г.А. Шарков. 4310650/30–15; заявл. 28.09.1987; опубл. 30.04.1989 г. Бюл. № 16.

11. Авторское свидетельство № 1699364 СССР МКИ А 01 С 1/00: Установка для СВЧ-обработки / Андреев С.А., Андержанов А.Л., Ковалев С.И., Пипко А.И. – 4309988 /15; заявл. 28.09.1987 г.; опубл. 23.12. 1991 г. Бюл. № 47.

12. Андреев С.А., Андержанов А.Л., Пипко А.И. Импульсное устройство защиты СВЧ-генератора от аварийных режимов: автоматика и электромагнитные поля в сельском хозяйстве // Сборник научных трудов МИИСП. М.: МИИСП, 1989. С. 18–23.

13. Бородин И.Ф., Андреев С.А., Андержанов А.Л. Совершенствование устройств защиты

СВЧ-установок от аварийных режимов: вычислительная техника в управлении сельскохозяйственным производством // Сборник научных трудов МИИСП. М.: МИИСП, 1989. С. 20–24.

14. Андреев С.А., Столбунов А.А. Распознавание аварийных режимов работы СВЧ-генераторов по уровню низкочастотной энергии рассеяния: Актуальные вопросы науки и техники // Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции (11 апреля 2016 г.). Самара, 2016. С. 136–140.

Статья поступила 10.04. 2016

PREVENTION OF EMERGENCY MODE ACTIVATION IN FARM MICROWAVE INSTALLATIONS

SERGEY A. ANDREYEV, PhD (Eng), Associate Professor¹

E-mail: asa-finance@yandex.ru

VLADIMIR I. ZAGINAILOV, DSc (Eng), Professor¹

E-mail: energo-viz@mail.ru

VICTOR A. VOROBIEV, DSc (Eng), Professor¹

E-mail: tatiana49@mail.ru

¹Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The effectiveness of many agricultural processes can be significantly improved by the use of microwave electromagnetic energy. However, the widespread adoption of microwave technology in production processes is significantly constrained by its low reliability. One of the main causes of failure of the microwave generators are emergency modes arising when the equipment is actuated with an unloaded processing chamber. Automatic recognition of crash conditions is a rather difficult task because the main electrical parameters of microwave generators do not change in case of actuation with an unloaded processing chamber. The authors consider three new ways of recognizing emergency conditions and responding to them. The first method is based on the identification of emergency operation modes basing on the current waveform in the circuit of the magnetron power supply. For the implementation of this method the authors suggest using band-pass filters in combination with analog or digital data processing devices. The second method is to measure the microwave generators of low-frequency radiation, which significantly increases in case of emergency modes. When this method is used, no changes are required in the microwave generator circuits, which makes it easy to implement on all systems with a microwave cavity resonator. A third method involves a constant monitoring of the automatic electric capacity of the working chamber, which depends on the presence of the processed products. This method lets avoid the emergency operation, since its implementation does not lead to the erroneous activation of microwave generators. The authors conclude about the advisability of choosing the most effective way of preventing the emergency mode operation basing on the operation specific features and technical characteristics of microwave systems.

Keywords: microwave generator, emergency mode, magnetron, protection device, current waveform, band-pass filter, low frequency radiation, working chamber electric capacity.

References

1. Primenenie SVCh-energii v sel'skom khozyaystve [Application of microwave energy in agriculture] / I.F. Borodin, G.A. Sharkov, A.D. Gorin. M. VNIITEIagroprom 1987. 53 p.

2. Andreyev S.A. Modelirovanie rezhimov raboty mikrovolnovogo generadora: avtomatika i vychislitel'naya tekhnika v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Simulation modes of a microwave generator: Automation and computer technology in agricultural production]. Collection of MIISP (Moscow Institute of

Farm Engineering) scientific works. M.: MIISP. 1990. Pp. 22–28.

3. Anderzhanov A.L., Andreyev S.A., Pipko A.I. Vybor garmonicheskoy sostavlyayushchey dlya kontrolya rezhima raboty SVCh-generatora: modelirovanie i avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Selection of a harmonic component for controlling the operating mode of a microwave generator: modeling and automation of agricultural production processes]. Collection of MIISP (Moscow Institute of Farm Engineering) scientific works. M.: MIISP. 1987. Pp. 58–61.

4. Sharkov G.A., Andreyev S.A. Issledovanie zavisimosti parametrov tsepi pitaniya SVCh-generatora ot nagruzki: elektroavtomatizatsiya v sel'skikh ustanovkakh [The dependence of circuit parameters of a microwave generator on the load power: Electric automation in farm installations]. Collection of MIISP (Moscow Institute of Farm Engineering) scientific works. M.: MIISP, 1985. Pp. 12–16.

5. Author's certificate № 1232157 USSR MKI A 01 C 1/00 Ustanovka dlya SVCh-obrabotki [Installation for microwave processing] / I.F. Borodin., G.A. Sharkov, S.A. Andreyev 3828665 / 30-15; appl. on 05.11.1984; publ. on 23.05.1986. Bul. № 19.

6. Sharkov G.A., Pipko A.I. Andreyev S.A. Avtomaticheskaya zashchita istochnikov SVCh energii ot avariynykh rezhimov: primeneniye SVCh energii v energosberegayushchikh tekhnologicheskikh protsessakh [Automatic protection of microwave energy sources from an emergency mode: The use of microwave energy in energy-saving technological processes]: Abstracts of the Fifth scientific and technical conference - Saratov: Saratov Polytechnical Institute 1986. Pp. 13–14.

7. Borodin I.F., Sharkov G.A., Andreyev S.A. Povysheniye nadezhnosti ustanovok dlya SVCh-obrabotki sel'skokhozyaystvennykh produktov: avtomatika i vychislitel'naya tekhnika v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Improving the reliability of systems for farm produce microwave processing: Automation and Computer Technology in Agricultural Production]. Collection of MIISP (Moscow Institute of Farm Engineering) scientific works. M.: MIISP. 1986. Pp. 3–6.

8. Borodin I.F., Sharkov G.A., Andreyev S.A., Anderzhanov A.L. Pipko A.I. Burov A.S. Ustroystvo zashchity mikrovolnovogo generatora ot avariynykh rezhimov: Vuzovskaya nauka – proizvodstvu [Microwave generator protection device from emergency modes:

University science to production processes. Research and development solutions of the institute used by the national farm industry] (MIISP scientific collection). M.: MIISP, 1988. P. 52–54.

9. Author's certificate № 1459620 USSR MKI A 01 C 1/00. Ustanovka dlya SVCh-obrabotki [Installation for microwave processing] / S.A. Andreyev, A.L. Anderzhanov, A.S. Burov, A.I. Pipko. 4221970 / 30-15; appl. on 06.04.1987; publ. on 23.02.1989. Bul. № 7.

10. Author's certificate № 1475509 USSR MKI A 01 C 1/00. Ustanovka dlya SVCh-obrabotki [Installation for microwave processing] / A.I. Pipko, A.S. Prokudin, V.S. Yurkov, A.S. Burov, A.L. Anderzhanov, S.A. Andreyev, G.A. Sharkov. 4310650 / 30-15; appl. on 28.09.1987; publ. on 30.04.1989. Bul. № 16.

11. Author's certificate № 1699364 USSR MKI A 01 C 1/00. Ustanovka dlya SVCh-obrabotki [Installation for microwave processing] / S.A. Andreyev, A.L. Anderzhanov, S.I. Kovalev, A.I. Pipko. 4309988/15; appl. on 28.09.1987; publ. on 23.12.1991. Bul. № 47.

12. Andreyev S.A., Anderzhanov A.L., Pipko A.I. Impul'snoye ustroystvo zashchity SVCh-generatora ot avariynykh rezhimov: avtomatika i elektromagnitnye polya v sel'skom khozyaystve [Pulse device protecting a microwave generator from the emergency operation: Automation and electromagnetic fields in agriculture]. Collection of MIISP (Moscow Institute of Farm Engineering) scientific works. M.: MIISP. 1989. Pp. 18–23.

13. Borodin I.F., Andreyev S.A., Anderzhanov A.L. Sovershenstvovanie ustroystv zashchity SVCh-ustanovok ot avariynykh rezhimov: vychislitel'naya tekhnika v upravlenii sel'skokhozyaystvennym proizvodstvom [Improving the protection devices of microwave systems from emergency operation: Computers in agricultural production control]. Collection of MIISP (Moscow Institute of Farm Engineering) scientific works. M.: MIISP. 1989. Pp. 20–24.

14. Andreyev S.A., Stolbunov A.A. Raspoznavaniye avariynykh rezhimov raboty SVCh-generatorov po urovnyu nizkochastotnoy energii rasseyaniya: Aktual'nye voprosy nauki i tekhniki [Recognition of microwave generator emergency operating conditions basing on the level of low-frequency energy dissipation: Topical issues of science and technology] // Collection of scientific papers of the International scientific-practical conference (11 April 2016). Samara, 2016. Pp. 136–140.

Received on April 10, 2016