

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВП НА ОСНОВЕ ДВУХУРОВНЕВОЙ МАКРОМОДЕЛИ ПОЛИМЕРНО-УГЛЕРОДНЫХ СИСТЕМ

К. И. Домкин

Введение

В настоящее время защита электрических цепей технических систем от перегрузок является актуальной задачей, поскольку превышение максимального значения тока нагрузки приводит к возникновению повреждений и отказов электрооборудования. При возникновении перегрузок в электрических цепях необходимо отключить техническую систему за кратчайшее время.

Для этого используют следующие устройства: плавкие и биметаллические предохранители, резисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (α_R) – позисторы, реле, электронные ключи и др. Все эти устройства имеют существенные недостатки: биметаллические предохранители неустойчивы к работе при высоких температурах, керамические позисторы потребляют значительную мощность и механически хрупки, а реле обладают самой высокой интенсивностью отказов [1].

В связи с этим все большее внимание разработчиков электронной аппаратуры привлекают самовосстанавливающиеся предохранители (СВП), лишенные этих недостатков. СВП – это резисторы с $\alpha_R > 0$, выдерживающие до 3000 переключений без замены, основу которых составляет полимерная композиционная система с распределенными в ней углеродными наночастицами.

В момент снятия приложенного напряжения материал автоматически переходит в исходное низкоомное состояние и затем самовосстанавливается. Значение сопротивления предохранителя в проводящем состоянии составляет доли Ома. Время срабатывания зависит от тока нагрузки и составляет порядка 0,1 с, причем, чем больше ток, тем быстрее срабатывает предохранитель. Еще одно важное преимущество полимерных предохранителей в том, что они стойки к ударным нагрузкам и вибрациям, обладают малыми массогабаритными показателями.

К сдерживающим факторам широкого распространения СВП следует отнести следующее:

- сложность прогнозирования выходных параметров СВП (в частности номинального сопротивления), связанная с недостаточно изученными механизмами формирования морфологии полимерно-углеродных систем;
- недостаточно эффективные технологии управления величиной позисторного эффекта;
- отсутствие промышленных технологий производства СВП, обеспечивающих необходимую повторяемость их выходных параметров.

1. Анализ результатов исследования выбора исходных материалов для СВП

Существующие подходы к формированию структуры (морфологии) полимерно-углеродных систем представлены в работах [2, 3]. Все они видят решение задачи получения полимерно-углеродных систем с требуемыми параметрами за счет подбора известных или получения новых типов исходных материалов, а также комбинации их процентного соотношения.

Для решения специфической задачи получения полимерно-углеродных систем для создания на их основе СВП проведены экспериментальные исследования по выбору наиболее перспективных исходных материалов. Анализ полученных результатов показал следующее.

В качестве полимеров наиболее подходящим материалом являются разнообразные полиэтилены [4]: низкого давления ПНД (высокой плотности) с числом молекулярных звеньев до 2000, высокого давления ПВД с числом молекулярных звеньев, более 2500 и различные блок-сополимеры на их основе. Сополимеризация полиэтилена или смеси полиэтилена с другими полимерами понижает температуру плавления, повышает значения показателя текучести расплава. Во всех случаях объемная доля углерода в полиэтилене не превышает 5 об. %.

В качестве углерода целесообразно применение углерода марки П267Э и полимера ПЭНД-МА-1 после стадии прессования [5].

В качестве добавок оправдано применение олеиновой кислоты [6]. Установлено, что нанесение одного процента олеиновой кислоты на поверхность гранул полиэтилена низкого давления уменьшает его вязкость на 40–60 %. Количество смазок и реологических добавок не превышает одного объемного процента. АСМ-исследования композита показали, что избыток добавок привел к снижению стабильности его структуры.

2. Методика прогнозирования номинального сопротивления СВП

Недостаточная проработка вопроса механизма формирования морфологии полимерно-углеродных систем приводит к тому, что после подбора рецептуры невозможно знать номинальное сопротивление без изготовления пробного образца.

Для того, чтобы снизить затраты на изготовление пробной партии образцов и спрогнозировать номинальное сопротивление СВП на ранних этапах производства, разработана следующая методика, основанная на применении АСМ-анализа структуры исследуемой полимерно-углеродной системы (рис. 1):

1. Провести АСМ-анализ структуры исследуемой полимерно-углеродной системы, определив количество слоев частиц углерода (n), размеры частиц углерода (d) и полимерной матрицы (D).

2. Выбрать значение порога перколяции ϕ_c на основе справочных данных и объемную долю углерода ϕ согласно техническому заданию.

3. Рассчитать габаритный параметр (Z) по следующей формуле:

$$Z = \frac{h}{S},$$

где h – толщина; S – площадь образца полимерно-углеродной системы.

4. Выбрать константу проводимости σ на основе справочных данных.

5. Провести расчет номинального сопротивления, подставив в формулу полученные ранее значения:

$$R = Z\sigma \left(\phi - \phi_c \left(1 - \left(\frac{nd}{D} \right)^3 \right)^2 \right).$$

В качестве примера использования АСМ-анализа проведено исследование структуры полимерно-углеродной системы на сканирующем зондовом микроскопе SMENA-A, в полуконтактной моде в режимах топографии и «фазового контраста». Измерения проводились кантилевером серии DCP-20 (диаметр 25 нм) с резонансной частотой $F = 462$ кГц. Объектом исследования являлась полимерно-углеродная система из углерода марки П267Э и полимера ПЭНД-МА-1 после стадии прессования.

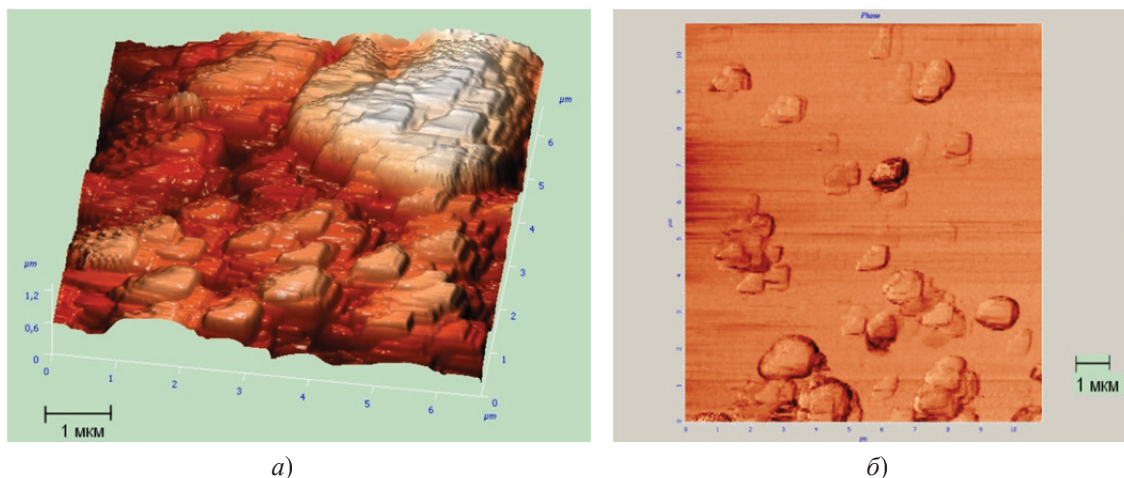


Рис. 1. АСМ-изображения:
а – композит СВП в 3D; б – частицы углерода в фазовом контрасте

Разработанное на основе этой методики алгоритмическое и программное обеспечение позволяют в результате обработки информации о структуре полимерно-углеродной системы, полученной после АСМ-анализа, осуществить прогнозирование ее свойств.

3. Информационная технология прогнозирования выходных параметров СВП

Результаты проведенных исследований позволили предположить, что управлять свойствами полимерно-углеродной системы можно, изменяя ее морфологический состав. На основе этого предположения разработана двухуровневая макромоделю полимерно-углеродных систем, в которой система представлена в виде черного ящика с управляемыми входами. Структура информационной технологии прогнозирования выходных параметров СВП представлена на рис. 2.

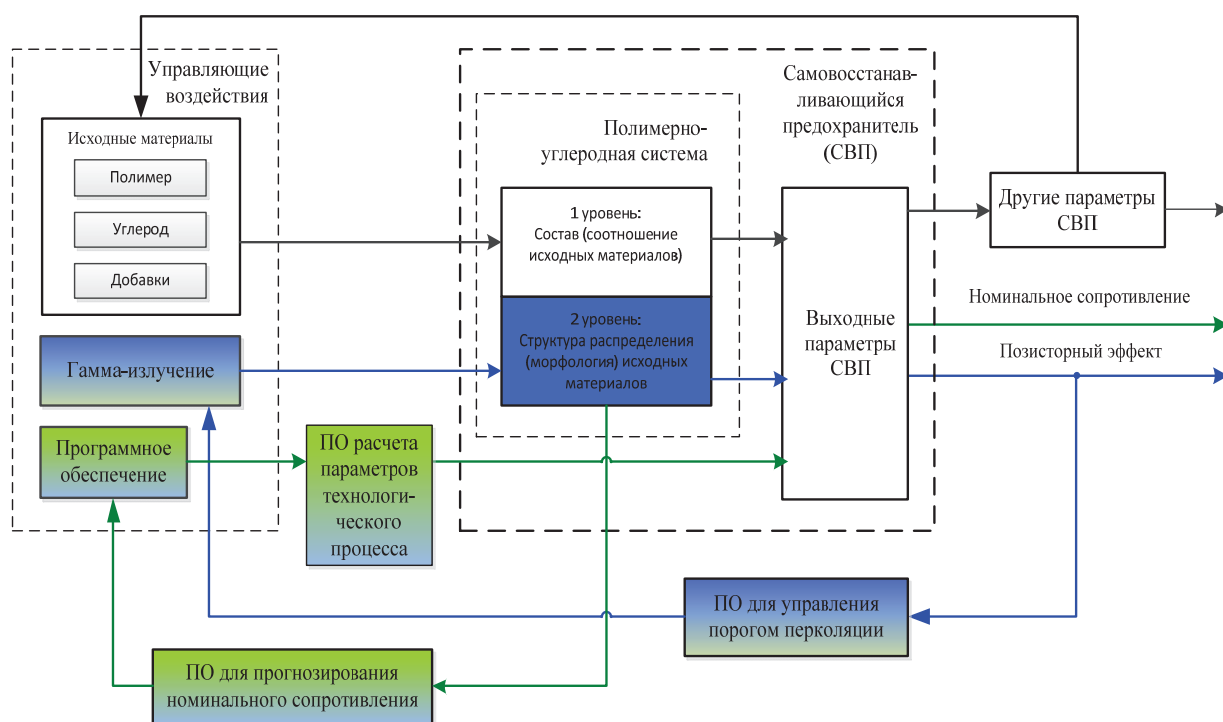


Рис. 2. Структура информационной технологии прогнозирования выходных параметров СВП

Ее особенность заключается в том, что для прогнозирования свойств СВП используются как известные способы управления структурой полимерно-углеродной системы (исходные вещества), так и вновь предложенные (методика и алгоритм).

На основе предложенной ИТ создана программа «Расчет параметров экструзии», предназначенная для расчета оптимальных параметров экструзии полимерных композитов.

Система включает графический интерфейс пользователя, систему управления, базу данных по материалам и модули расчета.

Функциональные возможности системы позволяют осуществить эффективное проведение процесса экструзии полимерного композита по заданным параметрам: составу, массе исходных компонентов, распределение частиц в полимерном композите. Выходными характеристиками программы является плотность композита, его динамическая вязкость, температура экструзии и скорость процесса.

4. Полученные результаты

Применение информационной технологии прогнозирования выходных параметров СВП на основе двухуровневой макромоделю полимерно-углеродных систем позволило получить изделия (см. рис. 2), обладающие следующими характеристиками (табл. 1).

Параметры полученных СВП

Условное обозначение резисторов	Номинальное сопротивление, $R_{\text{ном}}, 10^{-2}$ Ом	Допускаемое отклонение сопротивления, $\delta R_{\text{ном}}, \%$	Номинальный ток, $I_{\text{ном}},$ А	Ток размыкания, $I_{\text{разм.}},$ А	Время размыкания (быстродействие), $t_{\text{разм.}},$ с, не более	
P1-200-1	1,5	± 10	1,2	2,7	5,0	
P1-200-2						
P1-200-3	8,2		1,5	3,0	4,0	
P1-200-4						
P1-200-5						
P1-200-6	5,6			2,0	4,4	
P1-200-7	2,7			3,5	6,3	3,0
P1-200-8	2,2			4,2	7,6	6,0

Результаты исследований использованы при проведении работ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. в следующих проектах:

– «Исследование научно-методологических и материаловедческих основ наноконпозиционных резисторных структур и создание суперминиатюрных чип-резисторов и самовосстанавливающихся предохранителей на фазовом переходе первого рода» (№ 716П от 20.05.10);

– «Производство композиционных материалов на основе метода определения оптимальных размеров частиц» (№ П416 от 12.05.10).

Выводы

Разработанная в ходе работы методика прогнозирования номинального сопротивления СВП, доведенная до алгоритмической и программной реализации, позволяет после обработки информации о структуре полимерно-углеродной системы, полученной АСМ-анализом, осуществить эффективное прогнозирование номинального сопротивления изделия.

Предположенная информационная технология прогнозирования выходных параметров СВП, построенная на основе разработанной двухуровневой макромоделли полимерно-углеродных систем, дополненная новой методикой прогнозирования номинального сопротивления СВП, позволяет обеспечить необходимую повторяемость выходных параметров изделий.

Список литературы

1. Информационная технология многофакторного обеспечения надежности сложных электронных систем / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 75–79.
2. Тагер, А. А. Физико-химия полимеров / А. А. Тагер. – 2-е изд. – М.: Химия, 1983. – 545 с.
3. Voiteux G: Structure and water sorption of polyurethane nanocomposites based on organic and inorganic components / Ye. P. Mamunya, V. I. Shtompel, E. V. Lebedev et. al. // Europ. Polym. J. – 2004. – V. 40. – P. 2323–2331.
4. Домкин, К. И. Полимерные композиционные материалы на основе проводящих нанопорошков углерода для самовосстанавливающихся предохранителей / К. И. Домкин, В. Г. Недорезов, Н. К. Юрков. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – 128 с.
5. Каминская, Т. П. Исследование гранулометрического распределения порошков стекла для толсто пленочной технологии с применением лазерной дифракции на приборе «ANALYSETTE 22» COMPACT / Т. П. Каминская, С. В. Подшибякин, К. И. Домкин // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2007. – Т. 2. – С. 69–70.
6. Домкин, К. И. Разработка самовосстанавливающихся предохранителей для защиты электрических цепей вычислительной техники / К. И. Домкин, В. Г. Недорезов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». – 2011. – № 2. – С. 90–96.

Домкин Кирилл Иванович

инженер,
научный отдел,
Научно-производственное предприятие «Рубин»
(440000, Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2)
E-mail: ego85@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты анализа современного состояния и тенденций развития защиты электрических цепей технических систем. Выявлено, что сдерживающими факторами широкого распространения самовосстанавливающихся предохранителей (СВП) являются, во-первых, сложность прогнозирования выходных параметров СВП, связанная с недостаточно изученной морфологией полимерно-углеродных систем, а, во-вторых, отсутствие промышленных технологий производства СВП, обеспечивающих необходимую повторяемость их выходных параметров. Для снятия указанных факторов предложена информационная технология прогнозирования выходных параметров СВП, построенная на основе разработанной двухуровневой макромоделли полимерно-углеродных систем, дополненная новой методикой прогнозирования номинального сопротивления СВП.

Ключевые слова: самовосстанавливающиеся предохранители, полимерно-углеродные системы, выходные параметры, информационная технология, макромоделль.

УДК 678.07

Домкин, К. И.

Информационная технология прогнозирования выходных параметров СВП на основе двухуровневой макромоделли полимерно-углеродных систем / К. И. Домкин // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 4 (8). – С. 93–97.

Domkin Kirill Ivanovich

engineer,
research department,
scientific-industrial enterprise «Rubin»
(440000, 2 Baydukov street, Penza, Russia)

Abstract. The paper presents the results of the analysis of the current status and trends in the protection of electrical circuits technical systems. Identified that the limiting factors of the wide distribution of multifuses is the difficulty of predicting its output parameters associated with poorly understood morphology of polymer-carbon systems, and secondly, the lack of industrial production technologies for multifuses provides the necessary repeatability of their output parameters. To escape these factors proposed information technology forecasting multifuse output parameters, built on the basis of the developed two-level macromodel polymer-carbon systems, complemented by the new method of forecasting the nominal resistance of the multifuse.

Key words: resettable fuses, multifuses, polymer-carbon system, output parameters, information technology, macromodel.