

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВАРИСТОРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

К. ф.-м. н. А. Ю. Ляшков, к. ф.-м. н. В. О. Макаров, д. ф.-м. н. А. С. Тонкошкур,  
к. ф.-м. н. И. В. Гомилко, к. ф.-м. н. О. В. Хмеленко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара  
Украина, г. Днепр  
alexndu@ukr.net

*Синтезированы полимерные композиты с оксидноцинковой варисторной керамикой в качестве наполнителя. Композиты обладали нелинейными вольт-амперными характеристиками с коэффициентом нелинейности 3—9, а также положительным температурным коэффициентом сопротивления. Диэлектрическая проницаемость составляла 3—12 на частоте  $10^5$  Гц. Нагрев образцов композита приводил к сдвигу вольт-амперных характеристик в область больших напряжений, остывание — к их обратной релаксации. Полученные приборы могут быть использованы для защиты электрических цепей.*

*Ключевые слова:* варистор, композит, полиэтилен, электропроводность, керамика, ZnO.

Одним из направлений разработки новых материалов современной электроники является синтез полимерных электропроводящих композитов с различными наполнителями. Это уже позволило массово внедрить в электронное приборостроение самовосстанавливающиеся предохранители на основе композитов «полиэтилен — технический углерод». Данные элементы нашли применение как устройства электрической и тепловой защиты от токовых перегрузок в аккумуляторах и гальванических источниках питания [1], представляются перспективными для реализации такой защиты фотоэлементов солнечных батарей [2]. Распространенным методом решения проблемы защиты различных электрических схем от перенапряжения является применение резисторов с нелинейной вольт-амперной характеристикой — варисторов [3]. Особый интерес представляет объединение свойств варисторов и самовосстанавливающихся предохранителей в едином приборе. Данные, приведенные в [4], свидетельствуют о наличии у композитов «полиэтилен — варисторная керамика» варисторных свойств и положительного температурного коэффициента сопротивления. Однако применение таких структур требует более детальных исследований для разработки физико-технологических основ их изготовления и применения.

Целью настоящей работы является оптимизация технологии изготовления и комплексное исследование электрических свойств композитов «полиэтилен — варисторная керамика».

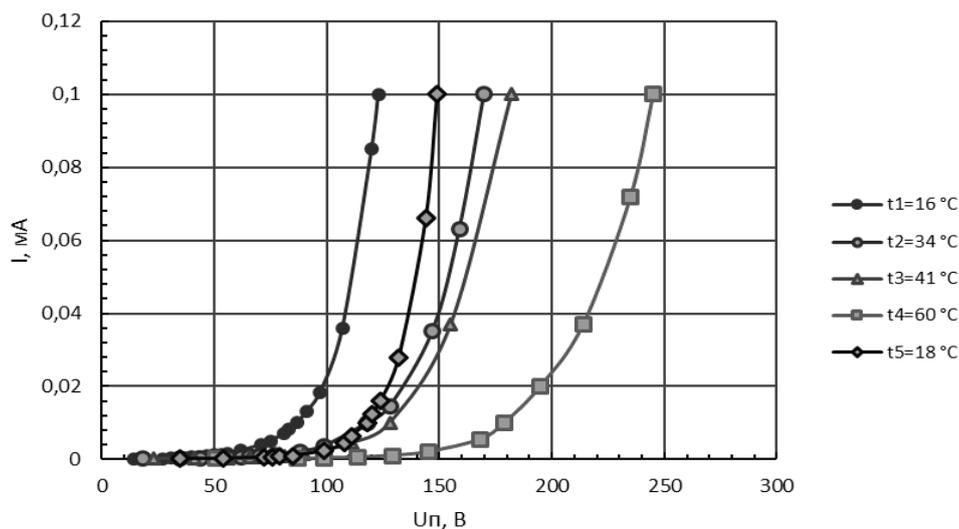
Исходными компонентами для изготовления композитов были полиэтилен низкой плотности (LDPE) (марка 15803–020) в гранулах и порошок измельченной оксидноцинковой варисторной керамики ( $\text{ZnO-Bi}_2\text{O}_3\text{-CoO-Sb}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2\text{-MnO-B}_2\text{O}_3$ ). Порошок просеивался через мелкую сетку, в результате размер керамических частиц составлял менее 40 мкм.

При изготовлении композита необходимое количество гранул полиэтилена и порошка варисторной керамики загружали в пробирку объемом примерно 20 мм<sup>3</sup> и подвергали нагреву до перехода полимера в вязкотекучее состояние. Смесь тщательно перемешивали и давали остыть. После этого композит освобождали из пробирки и механически измельчали до размера частиц  $\approx 0,5$  мм. Порошок спрессовывали под давлением 1 МПа, и одновременно в верхнюю и нижнюю поверхности образцов впрессовывали электроды из мелкой медной сетки. Затем заготовки подвергали горячему прессованию при 130°C при давлении 0,1 МПа в течение одного часа. Таким образом были синтезированы механически прочные образцы композита диаметром 12 мм и толщиной 1,5—3 мм. Объемная доля варисторной керамики в композите составляла от 14 до 84%.

На рисунке изображены вольт-амперные характеристики (ВАХ) образца композита «полиэтилен — варисторная керамика» с объемной долей наполнителя 37%. Здесь видно, что при увеличении

температуры ВАХ смещается в диапазон больших напряжений, а при последующем уменьшении температуры наблюдалась тенденция к восстановлению начальных параметров ВАХ.

Приведенные результаты соответствуют общим представлениям о механизме изменения электропроводности композитов, который обусловлен тепловым расширением матрицы полиэтилена. При протекании электрического тока происходит разогрев материала. Рост температуры приводит к расширению полиэтилена, коэффициент линейного расширения которого значительно больше, чем ZnO. При этом увеличивается среднее расстояние между отдельными частицами варисторной керамики, что ведет к разрыву части каналов протекания электрического тока. Это и приводит к увеличению сопротивления с ростом температуры. Таким образом, композит в целом, в отличие от варисторной керамики [3], имеет положительный температурный коэффициент сопротивления.



Вольт-амперные характеристики образца композита «полиэтилен — варисторная керамика» при различных значениях температуры (объемная доля варисторной керамики 37%)

Таким образом, синтезированы варисторные полимерные композиты с нелинейной ВАХ и коэффициентом нелинейности 3—9. Нагревание образцов приводит к обратимому сдвигу ВАХ в область больших напряжений. Композит имеет перспективы применения в качестве элемента защиты электрических цепей объединяющего в себе свойства варисторов и самовосстанавливающихся предохранителей.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Гавриков В. Самовосстанавливающиеся РТС – предохранители для защиты от токовых перегрузок // Новости электроники. — 2014. — №12. — Сп. 11—15.
2. Ivanchenko A.V., Tonkoshkur A.S., Mazurik S.V. Application of “PolySwitch” fuses for the limitation of current overloads in photovoltaic systems of solar arrays // Journal of Physics and Electronics. — 2018. — № 26(1). — С. 77—82.
3. Валеев Х.С., Квасков В.Б. Нелинейные металл-оксидные полупроводники. — М.: Энергоиздат, 1983.
4. Lyashkov A.Yu, Tonkoshkur A.S. Varistor composites with a positive temperature coefficient of resistance // Technical Physics. — 2011. — Vol. 56, N 3. — С. 427—428.

A. Yu. Lyashkov, A. S. Tonkoshkur, O. V. Makarov, I. V. Gomilko, O. V. Khmelenko

#### Electrical properties of varistor polymer composites

*The authors synthesize polymer composites with oxide-zinc varistor ceramics as a filler. The composites have nonlinear current – voltage characteristics with a nonlinearity coefficient of 3—9, as well as a positive temperature coefficient of resistance. The dielectric constant is 3—12 at a frequency of  $10^5$  Hz. Heating of the composite samples causes the current –voltage characteristics to shift to the region of high voltages, while their cooling leads to the reverse relaxation. The obtained devices can be used to protect electrical circuits.*

*Keywords: varistor, composite, polyethylene, electrical conductivity, ceramics, ZnO.*