

от слоя налета для гладких поверхностей происходит значительно быстрее, чем для поверхностей, покрытых микронеровностями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуковски П., Партыка Я., Карват Ч. Применение ионной имплантации в электротехнике // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1997. — № 9—10. — С. 32—35.
2. A new method for determining changes in hardness of implanted materials: Nukleonika / P. Żukowski, C. Karwat, M. Łozak, J. Liśkiewicz. — Vol. 44. — № 2. — 1999. — P. 289.
3. Polska Norma PN-E-10581 (1994). Łączniki do przyrządów. Postanowienia ogólne.
4. Коваленко В. С. Металлографические реактивы: Справ. — М.: Металлургия, 1981.
5. Комаров Ф. Ф. Ионная имплантация в металлы. — М.: Металлургия, 1990.
6. P h y s. Stat. Sol. a / P. Żukowski, Cz. Karwat, F. F. Komarov, A. F. Komarov, A. Łatuszyński. — 1996. — Vol. 157. — P. 373.
7. Таблицы параметров пространственного распределения ионно-имплантированных примесей / А. Ф. Буренков, Ф. Ф. Комаров, М. А. Кумахов, М. М. Темкин. — Мн., 1980.
8. Макусымиук J. Aparaty elektryczne. — WNT, Warszawa, 1995.

Представлена научным семинаром
кафедры электротехнических устройств
и ТВН

Поступила 2.11.2000

УДК 631.83.004

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК КОМБИНИРОВАННЫХ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЛАВОВ

**Канд. техн. наук, доц. КОЗЫРСКИЙ В. В.,
канд. техн. наук, проф. ЛУТ Н. Т.,
докт. техн. наук, проф. СИНЬКОВ М. В.**

Национальный аграрный университет (Украина)

Использование традиционных материалов и конструкций приводных элементов расцепителей существенно ограничивает возможности совершенствования характеристик автоматических выключателей, получивших наибольшее распространение в качестве защитных аппаратов.

В данной статье представлены результаты исследований универсальных расцепителей автоматических выключателей, изготовленных на основе новых конструкционных материалов — сплавов с эффектом «памяти формы» (ЭПФ), обладающих необычными физическими свойствами [1]. Анализ экономической целесообразности замены традиционных — биметаллических приводных элементов на предлагаемые показал, что стоимостные затраты одинаковы. Однако использование сплавов с ЭПФ позволяет расширить функциональные возможности изделий.

Применяемые в исследованиях сплавы Cu-Al-Mn и другие являются наиболее простыми прямыми преобразователями энергии электрического тока в механическую работу. Основной для изделий из этих сплавов является термомеханическая характеристика (рис. 1), параметры которой σ_{\max} (максимальное термомеханическое напряжение), Θ_n и Θ_k (значения температуры начала и конца восстановления формы термочувствительного элемента). Эти параметры зависят от соотношения компонентов сплава, наличия механической возможности восстановления формы и геометрических размеров термочувствительного элемента (ТЭ).

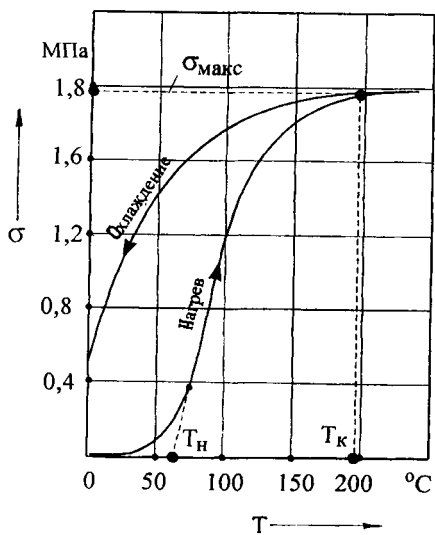


Рис. 1

создания универсального приводного элемента расцепителей с совмещенными (комбинированными) функциями тепловых (биметаллических) и электромагнитных расцепителей [1].

С целью оптимизации универсальных приводных элементов из сплава с ЭПФ разработаны математические модели параметров и характеристик ТЭ в программируемой среде MathCad 2000.

Модель термомеханической характеристики ТЭ представлена следующими выражениями [2]:

$$\sigma_{TЭ}(t) = if[\Theta(t) \geq 90, M_{TЭ}(t), K_{TЭ}(t)]; \quad (1)$$

$$M_{TЭ}(t) = (1 - e^{-\Theta(t)A1}) \cdot A2 \cdot L - A3 \cdot L; \quad (2)$$

$$K_{TЭ}(t) = A4 \cdot \Theta(t)^4 \cdot L, \quad (3)$$

где $A1...A4$, L — коэффициенты.

Для группы сплавов Cu-Al-Mn изменение температуры ТЭ во времени при нагреве электрическим током с достаточной точностью описывается выражением [2]

$$\Theta(t) = \Theta_0 + 5,33 \cdot 10^{-13} \frac{W(t)}{q^2} + 1,28 \cdot 10^{-30} \frac{W(t)^2}{q^4} + 4,014 \cdot 10^{-47} \frac{W(t)^3}{q^6}, \quad (4)$$

где $W(t) = \int_0^t [I(t)]^2 dt$ – тепловой импульс, создаваемый электрическим током $I(t)$, протекающим через ТЭ; Θ_0 – температура окружающей среды; $q = ab$ – площадь поперечного сечения термочувствительного элемента; a – ширина ТЭ; b – толщина ТЭ.

Изменение термомеханического усилия ТЭ во времени с учетом (1) определяется выражением

$$F(t) = \sigma_{ТЭ}(t)q(-B_1M^2 + B_2M + B_3) \cdot 10^{-2}, \quad (5)$$

где B_1 , B_2 и B_3 – коэффициенты; M – степень свободного хода восстановления формы ТЭ, %.

Усилие стальной пружины механизма расцепления автоматического выключателя можно вычислить с использованием выражения

$$F_{пр} = 6,51 \cdot 10^6 Eb_1^2 a_1 \pi l, \quad (6)$$

где E – модуль Юнга стали; b_1 – толщина пружины; a_1 – ширина пружины; l – ход пружины при деформации до положения срабатывания расцепителя.

Соответственно условием срабатывания расцепителя будет равенство усилий ТЭ и пружины

$$F(t) = F_{пр}. \quad (7)$$

Найти символьное решение (7) относительно времени t не представляется возможным из-за сложности зависимости (4). Программируемая среда MathCad позволяет решить (8) аналитическим (численным методом) или графическим путем:

$$F(t) - F_{пр} = 0; \quad (8)$$

$$t = t_i; \quad t = \text{root} [F(t) - F_{пр}], \quad (9)$$

где t_i – начальное приближение.

Численный способ решения (9) дает возможность рассчитать характеристику срабатывания расцепителя в зависимости от величины электрического тока $t = f(I)$. Аналогичным способом можно произвести расчет оптимальных геометрических размеров ТЭ (например, толщины) при заданных значениях времени срабатывания расцепителя и протекаемого тока:

$$b = b_i; \quad b = \text{root} [F(b) - F_{пр}]. \quad (10)$$

Для случая срабатывания расцепителя при коротких замыканиях (сверхбыстром нагреве ТЭ током короткого замыкания в течение малого промежутка времени) зависимость температуры ТЭ от времени можно записать следующим упрощенным выражением:

$$\Theta(t) = k \frac{I^2}{q^2} t + \Theta_0, \quad (11)$$

где k – коэффициент.

С учетом (11) символьное решение (7) будет следующим:

$$t(I) = \frac{q^2}{kI^2} \left[\sqrt[4]{\frac{nEb_1^2 l M \pi a_1}{Lab(-B_1 M^2 + B_2 M + B_3)}} - \Theta_0 \right], \quad (12)$$

где n – коэффициент.

Произведя небольшие преобразования (12), получим уравнение, определяющее зависимость времени срабатывания расцепителя от плотности электрического тока:

$$t(J) = \frac{l}{kJ^2} \left[\sqrt[4]{\frac{nEb_1^2 l M \pi a_1}{Lab(-B_1 M^2 + B_2 M + B_3)}} - \Theta_0 \right]. \quad (13)$$

Представленные математические модели дают возможность исследовать влияние различных показателей на параметры и характеристики расцепителей автоматических выключателей с термочувствительными элементами из сплавов с ЭПФ.

Анализ корректности математических моделей выполнен на примере со следующими исходными данными: геометрические размеры ТЭ – $a = 6 \cdot 10^{-2}$ м; $b = 2 \cdot 10^{-4}$ м; $\Theta_0 = +25$ °С; $I = 200$ А. Геометрические размеры стальной пружины расцепителя: толщина $b_1 = 3 \cdot 10^{-4}$ м; ширина $a_1 = 5 \cdot 10^{-4}$ м; ход пружины при деформации (до положения срабатывания расцепителя) $l = 3 \cdot 10^{-4}$ м.

На рис. 2 представлены зависимости температуры термочувствительного элемента от времени протекания электрического тока. Расчет произведен соответственно по выражениям: (4) – позиция 1; (11) – позиция 2.

Изменение усилия ТЭ во времени при нагреве электрическим током показано на рис. 3 (построение выполнено с использованием выражения (5)).

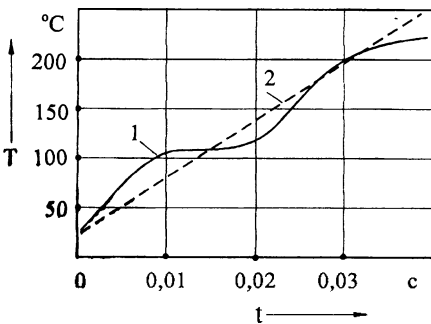


Рис. 2

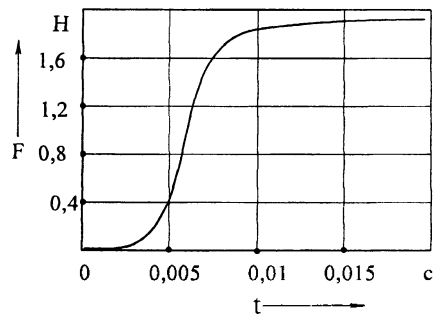


Рис. 3

На рис. 4 и 5 представлено графическое решение уравнения (7). При этом на рис. 5 показано решение в топографической форме при разных сочетаниях двух переменных – толщины ТЭ и величины электрического тока.

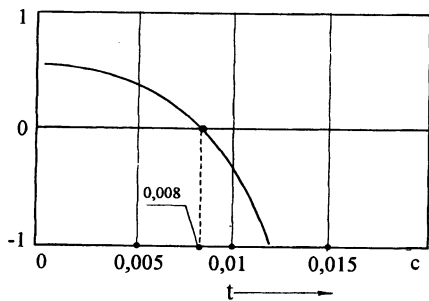


Рис. 4

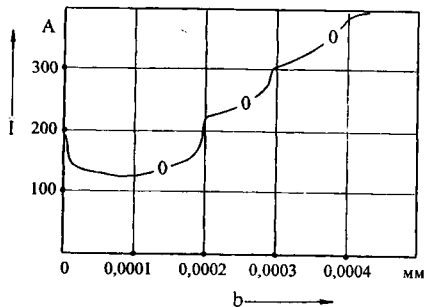


Рис. 5

Времятоковые защитные характеристики расцепителя (зависимость времени срабатывания от величины тока) представлены на рис. 6 (расчетная характеристика – позиция 1; экспериментальная характеристика – позиция 2). Анализ рис. 6 показывает, что характеристики, полученные расчетным путем, соответствуют экспериментальным данным. Соответственно полученные теоретические модели могут быть использованы для исследования предлагаемого типа расцепителей.

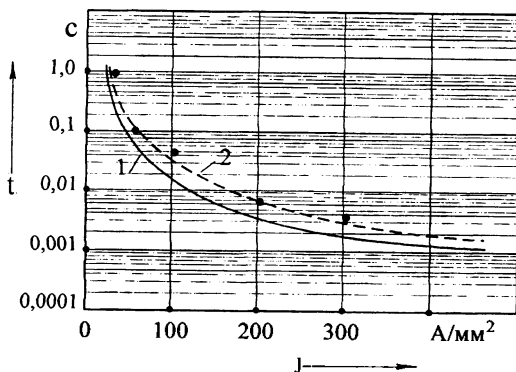


Рис. 6

ВЫВОДЫ

1. Исследования по применению сплавов с эффектом памяти формы в электроустановках подтверждают экономическую целесообразность и техническую возможность создания на их основе расцепителей автоматических выключателей.

2. Показатели времени восстановления формы ТЭ позволяют сделать вывод о возможности создания универсального приводного элемента расцепителей с совмещенными (комбинированными) функциями тепловых (биметаллических) и электромагнитных расцепителей.

3. Приведенные выше результаты математического моделирования дают возможность оптимизировать параметры термочувствительных элементов и характеристики расцепителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козирський В. В., Лут М. Т. Застосування спеціальних сплавів для розширення функціональних можливостей комбінованих розчіплювачів автоматичних вими-

качів // Механізація сільського господарства: Збірник наукових праць Національного аграрного університету. — Т. V. — Київ: Видавництво НАУ, 1999. — С. 25–27.

2. М и ш и н В. И., К о з ы р с к и й В. В. Математическое моделирование электромеханических процессов в контактных системах, оснащенных активными термостабилизаторами давления // Вісник Українського будинку економічних та науково-технічних знань. — 1999. — № 5. — С. 37–39.

Представлена кафедрой
електроснабження
сільського господарства

Поступила 30.06.2000

УДК 621.311.24

МНОГОЦЕЛЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Докт. техн. наук, проф. БОРИСОВ Р. И., инж. БУРИЧЕНКО В. П.

Херсонский филиал Украинского государственного морского технического университета

Модели оптимизации режимов и структур комплексов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1, 2] используют методы и средства управления ЭЭС, которые применительно к ВИЭ нуждаются в детализации, развитии и обобщениях.

Это объясняется особенностями применения ВИЭ для малонаселенных и удаленных районов, определяющим влиянием погодных и климатических условий на их работу и, как следствие, разнообразием противоречивых целей и ограничений ситуационного, технологического, экономического, экологического уровней и другими многочисленными факторами.

Математическая модель управления комплексом ВИЭ содержит, как правило, следующие блоки:

определение необходимой энергии в течение года, на каждый день и на следующий расчетный интервал времени;

определение располагаемой энергии на расчетный интервал или период времени;

оптимизация решений для разных сочетаний структур ВИЭ и выбор наиболее подходящей по комплексу технических и экономических условий;

анализ чувствительности решений для разных вариантов сочетания структур ВИЭ: влияние материальных затрат (ремонт, обслуживание ВИЭ и др.); внедрение новых технологий в сельскохозяйственное производство; смена видов отходов для биоинверторов и др.; определение минимума дополнительных затрат, выше которых адекватный экономический эффект не может быть достигнут.

Внедренные и действующие комплексы ВИЭ имеют индивидуальные модели, использование которых требует обсуждения решений для при-