

аналогами достигается оригинальной конструкцией термореле [1], обеспечивающей адекватность электрического, теплового и механического режимов работы чувствительных элементов защиты и контактного провода электрической сети.

Преимуществом dilatометрического термореле является то, что в отличие от других устройств защиты оно учитывает тепловой режим работы контактного провода, а это повышает точность и надежность тепловой защиты. Для термореле подготовлена конструкторская и техническая документация, необходимая для его изготовления и натурных испытаний. Термореле реализуется на недорогих технических элементах и может быть изготовлено без применения уникальной технологии.

4. Вывод

Применение многопараметрической защиты, состоящей из электронной токовременной защиты со статистическими уставками, получаемыми в результате анализа тока нагрузки как случайной функции времени и определяемыми предельными значениями амплитуды и длительности перегрузок, которые рассчитываются на основе вероятностной модели токов в КС электротранспорта, и dilatометрического термореле, позволит обеспечить надежную защиту контактной сети электротранспорта от отжига, вызываемого короткими замыканиями и перегрузками.

Литература

1. Толстик Н.Г. Интегральная защита контактной сети электротранспорта//Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте/ХГАЖТ.-№1, 1997.-с. 36-39.

Описана функціональна схема dilatометричного пристрою захисту контактної мережі. Отримана формула для визначення ходу термочутливого елементу захисту

Ключові слова: пристрій захисту, контактний дріт, коротке замикання, перевантаження, відпал

Описана функциональная схема dilatометрического устройства защиты контактной сети. Получена формула для определения хода термочувствительного элемента защиты

Ключевые слова: устройство защиты, контактный провод, короткое замыкание, перегрузка, отжиг

The functional diagram of dilatometric device of defence of contact network was described. The formula for definition of a course of a thermosensitive element of defence was received

Keywords: device of defence, contact wire, short circuit, overload, annealing

УДК 621.332:621.316.925

ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА КОНТАКТНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

А.Н. Толстик

Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина
E-mail: tols-alex@yandex.ru

Н.Г. Толстик

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой
Кафедра информатики
Харьковский гуманитарно-технический институт
ул. Кандаурова, 2, г. Харьков
Контактный тел.: (057) 335-24-29

1. Введение

Устройства контроля являются составной частью информационно-управляющего комплекса электротранспорта, поэтому создание средств температурного контроля и защиты контактного провода (КП) является важной задачей.

Анализ существующих средств защиты КС, включающих в себя максимальные токовую и импульсную защиты, потенциальную, тепловую и высокочастотную защиты, устройства, реагирующие на характер изменения тока КЗ, токовременные защиты и прочие, показал, что они не обеспечивают в полной мере надежной защиты КС. Недостатком данных устройств является то, что

они не срабатывают при малых токах КЗ в КС, а также приводят к неоправданным отключениям сети при опасных для нее кратковременных бросках тока.

2. Постановка задачи

Надежным устройством защиты КП было бы такое устройство, которое реагирует на температуру провода, т.е. учитывает тепловой режим работы КС. Термическая защита позволит в значительной степени сблизить противоречивые требования защиты КС от перегрузок и КЗ, т.к. в конечном счете защищает КП от отжига. Следует заметить, что тепловые параметры КС существенно отличаются от тепловых параметров машин, аппаратов и других устройств, поэтому существующие тепловые реле не могут быть применены для защиты КС. Технические средства температурного контроля и защиты КП могут быть реализованы на основе терморезистивного, термоэлектрического и dilatометрического методов. Учитывая случайный характер тяговой нагрузки, предпочтительным является dilatометрическое устройство защиты, позволяющее наиболее простую конструктивную и технологическую реализацию.

3. Тепловая защита

Ниже описано dilatометрическое реле с электроконтактной системой, реагирующее на температуру КП. Структурная схема термореле приведена на рис. 1, где 1 - тепловой преобразователь, 2 - передаточное устройство, 3 - электроконтактная система, $\Theta = \Delta t^\circ$ - диапазон изменения температуры, Δl - тепловая деформация чувствительного элемента (ЧЭ), h - линейное перемещение ЧЭ, $U_{\text{вых}}$ - выходной электрический сигнал.



Рис. 1.

При изменении температуры КП будет действовать на закрепление с силой, которая необходима для его растяжения от длины l_1 , которую он занимал бы в свободном состоянии при температуре t_1° , до длины l_2 при температуре t_2° . Считая растяжение упругим, по закону Гука определим

$$F = K \cdot \Delta l = \Delta l \cdot E \cdot S / l, \quad (1)$$

где E , Δl - соответственно модуль упругости материала и удлинение КП длиной l и сечением S .

С другой стороны, поскольку при нагревании однородного твердого тела его длина увеличивается, то

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta t^\circ \quad (2)$$

$$\text{тогда } F = \alpha \cdot E \cdot S \cdot \Theta \quad (3)$$

где α - температурный коэффициент линейного расширения материала КП, т.е. величина силы не зависит от длины провода, а определяется силами молекулярного взаимодействия материала КП.

Температура окружающей среды изменяется от -30°C зимой (минимальная температура) до $+40^\circ\text{C}$ летом (максимальная температура), а допустимая температура медного КП равна 100°C , поэтому наибольший перепад температур равен 130°C .

Подставляя в формулу (3) численные значения входящих в нее величин (для медного КП) $E = 12 \cdot 10^{10} \text{ н/м}^2$, $\Theta = (1; 100; 130)^\circ\text{C}$, $S = 100 \text{ мм}^2$, получим, что при увеличении температуры на 1°C КП будет действовать на закрепление с силой, равной 204 н , на 100°C - с силой 20400 н , а на 130°C - с силой 26520 н . Отметим, что из формулы

$$F_r = \sigma \cdot S \quad (4)$$

где σ - временное сопротивление при разрушении (предел прочности при растяжении), равное для отожженной меди 220 н/мм^2 , а для нагартованной меди 360 н/мм^2 , определяем, что для разрыва неотожженного медного КП данного сечения нужна разрушающая сила F_r , равная 36000 н .

Кроме того, удлинение медного ЧЭ, прямо пропорциональное значению начальной длины и температурному диапазону, при изменении температуры КП длиной даже 500 мм на 100°C равно лишь $0,85 \text{ мм}$.

Таким образом, соизмеримость сил, действующих на закрепление при нагреве КП и сил для его разрушения, а также необходимость повышения чувствительности тепловой защиты, приводят к необходимости замены цельного отрезка КП ЧЭ, состоящим из двух равных частей, связанных между собой шарнирными соединениями, поскольку в них не возникает крутящих моментов, и использовании в качестве выходной величины вертикального перемещения точки соприкосновения составных частей ЧЭ.

Тогда механическая схема термореле при установившейся температуре будет иметь вид как на рис. 2. ЧЭ реле представляет собой систему из 2-х жестких стержней, длины которых $l_1 = l_2$, заземленных с обоих концов внутри жесткой рамки, обладающей свойствами электрического изолятора и температурным коэффициентом линейного расширения, близким к нулю. Стержни l_1 и l_2 выполнены из материала КП и соединены друг с другом и с КС при помощи шарниров Ш1, Ш2, Ш3, причем стержни шарнирами Ш1 и Ш3 включены в разрыв КП и поэтому представляют собой вместе единое целое. При нагревании КП в равной степени нагреваются и стержни.

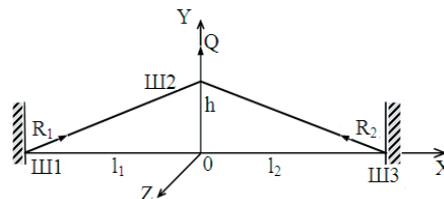


Рис. 2.

При установившейся температуре стержни находятся в покое, поэтому равнодействующая всех сил Q равна нулю по осям X , Y , Z :

$$\sum_{i=1}^n F_{xi} = 0, \text{ или } R_1 \cos \alpha - R_2 \cos \alpha = 0, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m F_{yj} = 0, P_1 + P_2 - R_1 \sin \alpha - R_2 \sin \alpha = 0, \quad (6)$$

$$\sum_{g=1}^k F_{zg} = 0, \text{ т.к. } F_{zg} = 0 \text{ при } g = 1, \dots, k \quad (7)$$

где F_{xi}, F_{yj}, F_{zg} - проекции сил на соответствующие оси координат, R_1, R_2 - реакции опор, P_1, P_2 - вес ЧЭ, а - угол между осью OX и осью стержня.

Следует заметить, что силы, вызывающие удлинение стержней при нагревании, значительно больше веса ЧЭ, т.е. $R_1=R_2 \gg P_1=P_2$. Чтобы доказать это, проанализируем отношение R_1/P_1 :

$$R_1/P_1 = (\Delta l * E * S / l) / (m * g) = \alpha * E * S * \Theta / (p * S * l * g) = \alpha * E * \Theta / (p * l * g), \tag{8}$$

где $\alpha = 14 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, l - длина ЧЭ, равная 190 мм, p - плотность меди, равная 8960 кг/м^3 , g - ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$. Подставив в формулу (8) численные значения входящих в нее величин, получим $R_1/P_1 = 19,11 \Theta / l = 101 \Theta$, т.е. при изменении температуры ЧЭ от 1 до 100°C отношение R_1/P_1 изменится от 101 до 10100, т.е. действительно $R_1 \gg P_1$.

Отметим, что сумма проекций всех сил на ось OZ равна нулю, т.к. считаем, что все силы действуют в плоскости XOY. Кроме того, при установившейся температуре сумма моментов всех сил относительно оси, проходящей через любую точку, равна нулю.

В качестве физической модели ЧЭ принимается модель абсолютно твердого тела, что соответствует высоким механическим свойствам КП, в частности, прочности и жесткости. Поэтому, чтобы повысить точность срабатывания защиты, необходимо устранить влияние на перемещение ЧЭ составляющей реакции опор по оси OY, для чего используем ЧЭ, имеющий одну степень свободы, состоящий из четырех частей длиной $l_1=l_3$ и $l_2=l_4$. Механическая схема термореле с ЧЭ в виде системы из 4-х жестких стержней приведена на рис. 3. В этом случае реакции опор $R_1=R_2$ будут направлены по оси OX, вызывая вертикальное перемещение точки соприкосновения средних стержней l_2 и l_4 , т.е. система сил, действующих на ЧЭ защиты при нагревании, заменяется одной силой - равнодействующей силой Q.

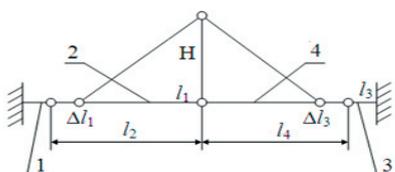


Рис. 3.

Проанализируем механические схемы термореле, приведенные на рис. 2 и 3. Тепловое расширение стержней в жесткой рамке (рис. 2) приводит к выпучиванию шарнира Ш2 с образованием стрелы выпучивания h . Значение h может быть найдено из выражения

$$h = F(l_1, \alpha, \Theta) = \sqrt{(l_1 + \alpha * \Theta * l_1)^2 - l_1^2} \tag{9}$$

где α - коэффициент линейного расширения, равный разности между температурными коэффициентами материалов ЧЭ и фиксатора; Θ - диапазон изменения температуры ЧЭ. Если, например, отрезок медного КП длиной $l_1 = 100 \text{ мм}$ будет нагрет, как и весь КП, до температуры 100°C , то $h = 5,29 \text{ мм}$. Величина хода ЧЭ Н для механической схемы термореле на рис. 3 равна

$$H = F(l_1, l_2, \alpha, \Theta) = \sqrt{(l_2 + \Delta l_2)^2 - (l_2 - \Delta l_1)^2}, \tag{10}$$

где $\Delta l_1, \Delta l_2$ - тепловые удлинения стержней длиной l_1 и l_2 при изменении температуры на Θ .

В частности, при $l_1=l_3 = 38 \text{ мм}$ и $l_2=l_4 = 152 \text{ мм}$ и $\Theta = 100^\circ\text{C}$, имеем $H = 8,99 \text{ мм}$.

Такое значение Н при достаточно значительном усилии выпучивания обеспечивает замыкание (размыкание) контактной группы системы защиты и регулировку температурного порога срабатывания.

Исследование функций (9) и (10) с целью определения максимума позволило осуществить выбор подходящих материалов и размеров ЧЭ и фиксаторов конструкции для заданного изменения температурного диапазона при условии обеспечения высокой чувствительности и термостойкости и малых величин тепловой инерции и стоимости защиты. Выражения для оптимизированных функций [1] имеют вид $h = \sqrt{2\alpha * \Theta * l_1^2} = \sqrt{0,28\Theta}$ ($l_1 = 100 \text{ мм}$) и $H = \sqrt{2\alpha * \Theta * l_2 * (l_2 + l_1)} = \sqrt{0,809\Theta}$ ($l_1=l_3 = 38 \text{ мм}$ и $l_2=l_4 = 152 \text{ мм}$) при $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2 = 14 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $\Theta = (0-150) \text{ } ^\circ\text{C}$, где α_1, α_2 - соответственно температурные коэффициенты линейного расширения медного ЧЭ и фарфорового фиксатора конструкции, причем $H > h$ при любом $\Theta > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, т. к. $H = 1,699h$.

Таким образом, механическая схема термореле с ЧЭ из 4-х стержней является более предпочтительной, чем система из 2-х стержней, т.к. в этом случае обеспечивается более высокая чувствительность и точность работы защиты. Так как чувствительность разработанного термореле примерно на порядок выше, чем у известного аналога [1], то это позволяет исключить усилитель выходной величины (например, рычажную систему), включаемый обычно в измерительный канал первичного измерительного преобразователя, что упрощает конструкцию защиты и повышает надежность ее работы.

4. Выводы

Дальнейшая разработка dilatometric термореле представляет практический интерес в плане создания эффективной защиты КС от отжига, вызываемого КЗ и перегрузками, т.к. термореле представляет собой наиболее точную физическую модель КП, что достигается оригинальной конструкцией защиты, обеспечивающей адекватность электрического, теплового и механического режимов работы ЧЭ реле и КП при включении защитного устройства в расщелку КС. Поскольку термореле является частью защищаемой электрической сети, то защита КП от отжига реализуется с достаточной приближенностью к граничной кривой перегрева во всем диапазоне нагрузок с максимальным использованием пропускной способности фидера.

Литература

1. Тырса В.Е., Толстикова Н.Г. Механический расчет dilatometric устройства защиты контактной сети // Вестник ХГАДТУ, 1995, №1, с. 64-68.