

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ РЕЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

У даній статті запропоновано метод автоматизованого вимірювання контактної тиску реле залізничної автоматики. Метод ґрунтується на особливостях конструкції електромагнітних реле залізничної автоматики, в яких відпадання якоря здійснюється під дією власної ваги якоря. Даний метод дозволяє вирішити комплексну задачу автоматизації вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики без зняття кожуха відповідно до експлуатаційно-технічних вимог до реле першого класу надійності.

В данной статье предложен метод автоматизированного измерения контактного давления реле железнодорожной автоматики. Метод основывается на особенностях конструкции электромагнитных реле железнодорожной автоматики, в которых отпадение якоря осуществляется под действием собственного веса якоря. Данный метод позволяет решить комплексную задачу автоматизации измерения механических параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики без снятия кожуха в соответствии с эксплуатационно-техническими требованиями к реле первого класса надежности.

A method of the automated measuring of contact pressure of railway automatics relay is offered in the article. The method is based on the design features of railway automatics electromagnetic relays, in which the falling of the armature occurs under the action of its own weight. The presented method allows to solve the complex task of railway automatics electromagnetic relays mechanic parameters measuring automation without removal of the casing, in accordance with the operational and technical requirements to the first class reliability relays.

Введение

Электромагнитные реле железнодорожной автоматики первого класса надежности используются для построения устройств, обеспечивающих безопасность движения поездов. Для обеспечения надежной и безотказной работы реле первого класса надежности эксплуатируются с учетом специальных эксплуатационно-технических требований (ЭТТ) [1]. Для обеспечения соответствия ЭТТ реле периодически проверяются и регулируются по всему комплексу параметров. Существующая технология проверки параметров реле железнодорожной автоматики морально и технически устарела и не обеспечивает необходимое качество обслуживания устройств железнодорожной автоматики, а также требует большого количества ручных операций, что приводит к значительным затратам времени на проверку реле. Статистические исследования, проведенные на кафедре АТС ДИИТа, показали, что до 10 % реле первого класса надежности выпускаются в эксплуатацию с нарушением ЭТТ [2]. Резервы повышения качества проверки реле и производительности труда при использовании существующей технологии практически исчерпаны, поэтому задача автоматизации процесса измерения параметров электромагнитных реле же-

лестнодорожной автоматики является актуальной.

В настоящее время измерение контактного давления производится в ручную с помощью граммометра часового типа Г-10-60. Контактное давление измеряют путем оттягивания фронтального или тылового контакта от общего, и отсчета показаний в момент их размыкания. Статистические наблюдения показывают, что недостатком данного способа измерения контактного давления является достаточно высокая погрешность (до 30 %), которая обусловлена как субъективностью при определении момента отсчета показаний, так и погрешностью самого граммометра. Попытки решения задачи автоматизации измерения контактного давления реле железнодорожной автоматики осуществлялись и ранее. В работе [3] авторы предлагали способ измерения контактного давления электромагнитных реле, построенный на базе токовихревого датчика положения якоря. Недостатком этого способа является то, что применение внешнего датчика позволяло создать только полуавтоматический стенд, так как датчик требовал индивидуальной калибровки и настройки для каждого измеряемого реле. К тому же обработка информации проводилась в аналоговой форме, что снижало точность получаемых результатов. В работе [4] предлагается способ

измерения давления тыловых контактов, основанный на зависимости значения тока в обмотке реле, в момент начала движения якоря при шунтировании обмотки, от значения давления тыловых контактов. Недостатком данного способа является то, что он не позволяет измерять давление фронтальных контактов реле, а также не дает возможность определить значение давления для каждого контакта реле.

Постановка задачи

Целью работы являлась разработка метода автоматизированного измерения контактного давления реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ для использования его в составе автоматизированного измерительного комплекса для контроля параметров реле железнодорожной автоматики, разрабатываемого на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь» ДИИТа.

Разработанный метод автоматизированного измерения контактного давления основывается на особенностях конструкции электромагнитных реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ, в которых отпадание якоря осуществляется не под действием возвратной пружины, а под действием собственного веса якоря, значение которого известно.

Описание метода

Исходными данными для определения контактного давления являются параметры элементов конструкции реле (рис. 1): вес якоря Q , соотношение плеч якоря K , конструкция контактной системы. А также параметры, которые определяются с помощью автоматизированного измерительного комплекса для контроля параметров реле [5; 6]:

- зависимость положения якоря от времени $\delta(t)$, позволяющая определить моменты трогания и останова якоря, а также совместный ход каждой контактной группы;

- электромагнитная сила притяжения якоря F_3 , создаваемая электромагнитом реле.

Контактное давление P_k в реле НМШ и РЭЛ создается предварительным нажатием регулировочных пластин на фронтальные и тыловые контакты P_0 и силой реакции совместного хода контактных пружин ΔP_k :

$$P_k = P_0 + \Delta P_k = cx_{\text{скр}} + cx_{\text{совм}}, \quad (1)$$

где c – жесткость контактных пружин; $x_{\text{скр}}$ – скрытый ход контакта, который он бы прошел, если бы он не опирался на регулировочную пластину; $x_{\text{совм}}$ – совместный ход фронтального (тылового) и общего контактов.

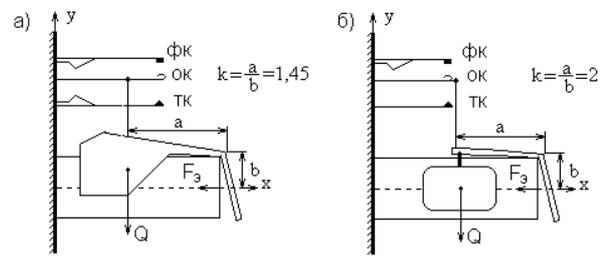


Рис. 1. Конструкция контактной системы:
а – реле НМШ; б – реле РЭЛ

Контактная пружина в реле НМШ и РЭЛ представляет собой упругую балку, заделанную одним концом и нагруженную сосредоточенной силой F на расстоянии X_F от места заделки пружины (рис. 2). Прогиб контактных пружин в сравнении с их длиной мал и не выходит за пределы упругой деформации, поэтому для расчетов можно использовать теорию изгиба упругой балки.

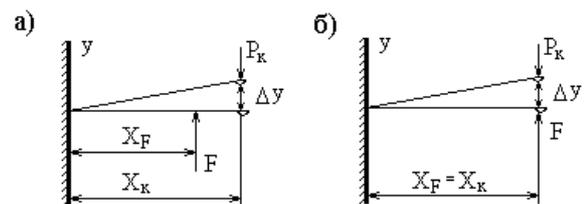


Рис. 2. Пружина общего контакта:
а – реле НМШ; б – реле РЭЛ

В месте приложения силы F величина изгиба контактной пружины будет равна

$$\Delta y_F = Fc_1, \quad (2)$$

где c_1 – жесткость контактной пружины на единицу силы, которая определяется следующим выражением:

$$c_1 = \frac{X_F^3}{3EJ}, \quad (3)$$

где X_F – расстояние от места заделки пружины до места приложения силы F ; E – модуль упругости материала (контактные пружины в реле НМШ и РЭЛ изготавливаются из фосфористой бронзы с $E = 11 \cdot 10^4$ Н/мм²); J – момент инерции пружины.

Момент инерции сечения плоской пружины равен

$$J = \frac{bh^3}{12}, \quad (4)$$

где b – ширина пружины; h – толщина пружины.

Прогиб плоской пружины в любой точке, находящейся слева от точки приложения силы на расстоянии $X_1 < X_F$, будет равен:

$$\begin{aligned} \Delta y_{x_1} &= Fc_2, \\ c_2 &= \frac{x_1^2(3x_F - x_1)}{6EJ}, \end{aligned} \quad (5)$$

где x_1 – расстояние от места крепления пружины до точки изгиба пружины.

Прогиб пружины в точке, расположенной справа от точки приложения силы ($X_2 > X_F$), определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned} \Delta y_{x_1} &= Fc_3, \\ c_3 &= \frac{x_F^2(3x_2 - x_F)}{6EJ}. \end{aligned} \quad (6)$$

Давление тыловых контактов в реле РЭЛ и НМШ создается весом якоря реле, поэтому при выключенном реле на пружины общих контактов действуют две силы – вес якоря Q и реакция пружин тыловых контактов $P_{км}$:

$$\sum_{i=1}^n P_{км_i} = Q \frac{x_F}{x_k}, \quad (7)$$

где n – количество тыловых контактов в реле; x_k – длина контактной пружины.

В реле железнодорожной автоматики типа РЭЛ все тыловые контакты расположены в один ряд и для них отсутствуют регулировочные пластины, поэтому давление тыловых контактов определяется только величиной совместного хода:

$$P_{км_i} = \frac{y_{mi}}{c_1}, \quad (8)$$

где y_{mi} – совместный ход i -го общего и тылового контактов реле, в месте их соприкосновения

$$y_{mi} = K x_{mi}, \quad (9)$$

где K – соотношение плеч якоря (для реле РЭЛ $K=2$); x_{mi} – перемещение якоря, измеряемое по оси сердечника, при котором тыловой и общий контакт были замкнуты.

В электромагнитном реле железнодорожной автоматики типа НМШ тыловые контакты расположены в два ряда, между которыми отсутствует жесткая связь, к тому же каждый тыловой контакт имеет свою регулировочную пластину. Давление тыловых контактов в реле НМШ создается двумя составляющими: $x_{скр}$ и $x_{совм}$. Значение скрытого хода контактов не поддается измерению косвенным методом. Для определения контактного давления с учетом предварительного нажатия P_0 , необходимо решить систему уравнений, полученную на основании выражения (7):

$$\begin{cases} P_{км1} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{m1}}{\sum_{i=1}^n y_{mi}}, \\ P_{км2} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{m2}}{\sum_{i=1}^n y_{mi}}, \\ \vdots \\ P_{кмn} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{mn}}{\sum_{i=1}^n y_{mi}}, \end{cases} \quad (10)$$

где y_{mi} – совместный ход тылового и общего контактов в месте их соприкосновения; n – количество тыловых контактов. Совместный ход тыловых контактов определяется следующим выражением:

$$y_{mi} = K K_1 x_{mi}; \quad (11)$$

$$K_1 = \frac{2 x_k^3}{x_F^2 (3x_k - x_F)}, \quad (12)$$

где K – соотношение плеч якоря (для реле НМШ $K=1,45$); K_1 – соотношение плеч между местом приложения силы F к пружине общего контакта и местом соприкосновения контактов (для реле НМШ $K_1=1,56$).

Для определения давления фронтных контактов $P_{кф}$ необходимо знать электромагнитную силу притяжения якоря F_y в момент останова якоря:

$$x_F (F_y - Q) = x_k \sum_{i=1}^n P_{кф_i}. \quad (13)$$

В реле НМШ и РЭЛ все фронтные контакты имеют регулировочные пластины, поэтому

для определения контактного давления с учетом скрытого хода каждого контакта необходимо решить систему уравнений, полученную на основании выражения (13):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{к\phi 1} = \frac{x_F}{x_k} (F_3 - Q) \frac{y_{\phi 1}}{\sum_{i=1}^m y_{\phi i}} , \\ P_{к\phi 2} = \frac{x_F}{x_k} (F_3 - Q) \frac{y_{\phi 2}}{\sum_{i=1}^m y_{\phi i}} , \\ \vdots \\ P_{к\phi m} = \frac{x_F}{x_k} (F_3 - Q) \frac{y_{\phi m}}{\sum_{i=1}^m y_{\phi i}} , \end{array} \right. \quad (14)$$

где $y_{\phi i}$ – совместный ход фронтального и общего контактов в месте их соприкосновения; m – количество фронтальных контактов.

В реле РЭЛ $x_k = x_F$, поэтому совместный ход фронтальных контактов будет равен: $y_{\phi i} = K x_{\phi i}$, где $x_{\phi i}$ – перемещение якоря, измеренное по оси сердечника, при котором i -й фронтальной и общий контакты были замкнуты. Для реле НМШ совместный ход фронтальных контактов определяется так же, как и совместный ход тыловых контактов, аналогично выражению (11): $y_{\phi i} = K K_1 x_{\phi i}$.

Результаты экспериментальных измерений

В табл. 1 и 2 приведены обобщенные результаты экспериментальных измерений контактного давления граммометром часового типа и результаты вычислений контактного давления по предлагаемому методу для реле НМШ и РЭЛ. Так как граммометр часового типа дает высокую погрешность, то для получения более достоверных результатов измерение контактного давления для каждого контакта проводилось 50 раз, после чего вычислялось среднее значение. Для получения расчетных данных использовался экспериментальный образец автоматизированного измерительного комплекса для проверки параметров реле железнодорожной автоматики, разработанный на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь» ДИИТа. Сравнительный анализ данных результатов показал, что отклонение вычисленного и измеренного значений контактного давления не превышает 3,6 % для фронтальных контактов и 2,3 % для тыловых контактов. Погрешность определения давления тыловых контактов меньше, так как вес якоря известен достаточно точно, а при определении давления фронтальных контактов необходимо вычислять электромагнитную силу притяжения якоря F_3 , что увеличивает погрешность вычислений в 1,5...2 раза.

Таблица 1

Результаты измерения контактного давления для реле НМШ1-1800

№ контакта	Совместный ход контактов		Экспериментальные данные		Расчетные данные	
	тыловых	фронтальных	тыловые	фронтальные	тыловые	фронтальные
	y_{mi} , мм	$y_{\phi i}$, мм	$P_{кт}$, Н	$P_{к\phi}$, Н	$P_{кт}$, Н	$P_{к\phi}$, Н
1	0,78	0,86	0,2156	0,4782	0,2198	0,4889
2	1,15	0,94	0,3195	0,5194	0,3228	0,5294
3	1,05	0,96	0,2901	0,5312	0,2958	0,5504
4	0,84	0,93	0,2332	0,5155	0,2367	0,5332
5	0,87	0,92	0,2411	0,5135	0,2451	0,5275
6	0,70	0,91	0,1940	0,5076	0,1972	0,5174
7	1,12	0,86	0,3097	0,4763	0,3156	0,4631
8	0,69	0,97	0,1921	0,5390	0,1944	0,5561

Результаты измерения контактного давления для реле РЭЛ1-1600

№ кон-такта	Совместный ход контактов		Экспериментальные данные		Расчетные данные	
	тыловых	фронтowych	тыловые	фронтowych	тыловые	фронтowych
	Y_{mi} , мм	Y_{fi} , мм	$P_{кт}$, Н	$P_{кф}$, Н	$P_{кт}$, Н	$P_{кф}$, Н
1	0,78	0,72	0,1882	0,4057	0,1915	0,3969
2	0,77	0,99	0,1862	0,5645	0,1890	0,5457
3	0,79	0,83	0,1921	0,4684	0,1939	0,4575
4	0,89	0,81	0,2136	0,4567	0,2185	0,4465
5	0,76	0,67	0,1842	0,3763	0,1866	0,3693
6	0,80	0,78	0,1940	0,4410	0,1964	0,4300
7	–	0,76	–	0,4312	–	0,4186
8	–	0,84	–	0,4763	–	0,4631

Данный метод позволяет достаточно точно решить задачу автоматизированного измерения контактного давления для нормально действующих реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ. К достоинствам данного метода измерения контактного давления можно отнести увеличение точности и уменьшение субъективности получаемых результатов, а также уменьшение времени на измерение контактного давления за счет того, что отпадает необходимость проводить измерения для каждого контакта отдельно и снимать кожу с реле.

Выводы

Разработанный метод автоматизированного измерения контактного давления нейтральных реле типов НМШ и РЭЛ реализован в виде программного обеспечения, функционирующего в составе автоматизированного измерительного комплекса для контроля параметров реле. Данный метод позволяет решить комплексную задачу автоматизации измерения механических параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики без снятия кожу с соответствия с эксплуатационно-техническими требованиями к реле первого класса надежности. Оценка погрешности вычисления контактного давления реле позволяет использовать метод на практике вместо существующей технологии проверки реле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Подгайченко М. С., Ягудин Р. Ш. Эксплуатационно-технические требования к реле СЦБ // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – № 9. – С. 19–20.
2. Стенд для проверки реле СЦБ. Разработка предложений по созданию стенда на базе КТС-ЛИУС-2. Отчет по НИР / ДИИТ. – № 353/3803. – Д., 1983. – 54 с.
3. Разгонов А. П., Кизяков В. Я., Байдуж А. Н. Способ измерения контактного давления электромагнитных реле // Пути повышения производительности труда на железнодорожном транспорте: Межвуз. сб. науч. тр. вып. 189/36. – Ташкент, 1984. – С. 59–63.
4. Пат. 40396А Украина, МКИ Н01 Н49/00. Спосіб вимірювання контактного натискання замикаючих контактів електромагнітного нейтрального реле залізничної автоматики: Пат. 40396А Україна, МКИ Н01 Н49/00/ В. І. Гаврилюк, В. І. Профатилов. – № 2001010026; Заявлено 03.01.2001; Опубл. 16.07.2001, Бюл. № 6. – 3 с.
5. Гаврилюк В. И., Профатилов В. И. Автоматизация контроля параметров нейтральных реле железнодорожной автоматики // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 4, 5. – С. 83–86.
6. Профатилов В. И., Гаврилюк В. И. Методика измерения механической характеристики реле железнодорожной автоматики // Сб. тр. 7 Международной конференции ж.-д. специалистов ЮЖЕЛ. – Белград (Югославия). – 2000. – С. 175–178.

Поступила в редколлегию 10.10.03.