

РАЗГОНОВ А. П. – д.т.н., профессор (ДНУЖТ)
БОНДАРЕНКО Б. М. – преподаватель (ДНУЖТ)
ПРОФАТИЛОВ В. И. – к.т.н., доцент (ДНУЖТ)

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ РЕЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Введение и постановка задачи

Основной элементной базой в устройствах железнодорожной автоматики в Украине являются электромагнитные реле первого класса надежности типа НМШ и РЭЛ. Данные реле используются при построении устройств, обеспечивающих безопасность движения поездов с учетом специальных эксплуатационно-технических требований (ЭТТ) [1]. Для обеспечения соответствия ЭТТ реле железнодорожной автоматики периодически проверяются и регулируются по всему комплексу параметров. Все основные работы по ремонту, регулировке и проверке параметров реле производятся в соответствии с «Инструкцией по техническому обслуживанию устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ)» в ремонтно-технологических участках (РТУ) СЦБ [2]. При проверке реле железнодорожной автоматики измерению подлежат электрические, временные и механические параметры. Наиболее сложным процессом является измерение механических параметров реле: совместного хода контактов, межконтактного зазора в крайних положениях якоря и при перелете контактов, высоты антимагнитного штифта, неодновременности замыкания контактов и контактного давления.

Существующая технология проверки механических параметров реле железнодорожной автоматики отличается низкой точностью и субъективностью, из-за большого количества ручных операций, которые осуществляются различного рода приспособлениями: щупами, шаблонами, графмометрами и т.п. Кроме того, часть механиче-

ских параметров, таких как неодновременность замыкания контактов и совместный ход контактов, вообще не измеряются, так как в РТУ отсутствуют для этого измерительные средства. Для контроля данных параметров используется субъективный метод визуальной оценки, который не позволяет измерить реальное значение параметра, а только фиксирует, соответствие нормативному значению. Статистические исследования, проведенные на кафедре «Автоматики, телемеханики и связи» ДИИТа, показали, что до 10% реле первого класса надежности выпускаются в эксплуатацию с нарушением ЭТТ [3].

Измерение контактного давления в РТУ производится с помощью графмометра 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 графмометра.

Резервы повышения качества проверки реле и производительности труда при использовании существующей технологии практически исчерпаны, поэтому задача автоматизации процесса измерения параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики является актуальной.

Целью работы являлась разработка метода автоматизированного определения контактного давления реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ для исполь-

зования его в составе измерительного диагностического комплекса для контроля параметров реле железнодорожной автоматики [4].

Разработанный метод автоматизированного определения 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 НМШ (рис. 1): вес якоря F_g , соотношение плеч якоря $K_y = b/a = 1,324$ и контактной пружины K_k , конструкция контактной системы, а также параметры, которые определяются с помощью автоматизированного измерительного диагностического комплекса для контроля параметров реле [4]:

- зависимость зазора между якорем и сердечником от времени $x(t)$ во время включения реле, позволяющая определить моменты трогания и останова якоря, а также совместный ход каждой контактной группы;
- зависимость тока в обмотке реле от времени $i(t)$ при включении реле;
- моменты размыкания тыловых контактов и замыкания фронтальных контактов при включении реле (T_i и F_i – где i – номер контакта).

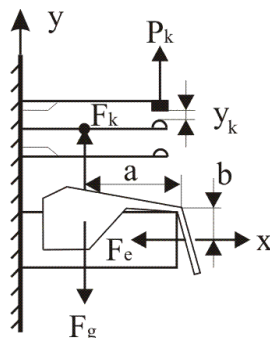


Рис. 1. Конструкция контактной системы реле НМШ

Все данные оцифровываются с помощью аналого-цифрового преобразователя и записываются в память компьютера для да-

льной математической обработки с помощью программного обеспечения, реализованного на языке высокого уровня C++.

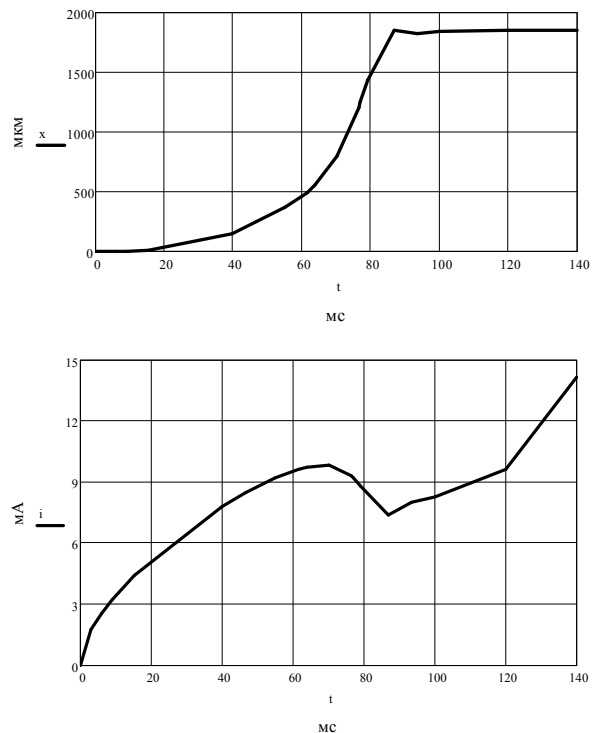


Рис. 2. Исходные данные $x(t)$ и $i(t)$

Исходные данные $x(t)$ и $i(t)$ представлены дискретными значениями, поэтому для определения значений функций между узловыми точками необходимо провести интерполяцию. Так как частота дискретизации измерительного комплекса позволяет получить несколько тысяч точек за время включения реле, то можно для интерполяции использовать простейшую одномерную линейную аппроксимацию.

На рис. 2. представлены зависимости $x(t)$ и $i(t)$ полученные с использованием интерполяционной формулы Ньютона [5].

Для определения ускорения якоря во время включения реле необходимо вычислить вторую производную от функции $x(t)$. Но данная зависимость представлена в виде кусочно-линейной аппроксимации имеет разрывы в узловых точках. Поэтому исходная зависимость $x(t)$ на участке движения якоря заменяется гладкой функцией $fx1(t)$ с помощью полиномиальной регрессии четвертой степени. При таком коэффициенте полиномиальной регрессии функции $x(t)$ и $fx1(t)$ имеют минимальное расхож-

дение (см. рис. 3). Значения функции $fx1(t1)$ необходимы только до момента замыкания последнего фронтного контакта, поэтому данную функцию можно не продлевать до момента останова якоря, что повышает точность совпадения функций $x(t)$ и $fx1(t1)$.

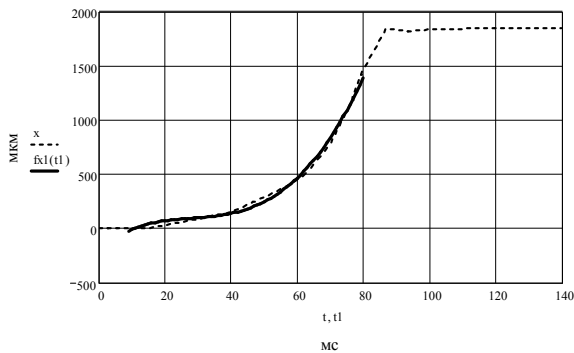


Рис. 3. Зависимости $x(t)$ и $fx1(t1)$

Вычисление второй производной функции $fx1(t1)$ осуществляется с помощью итерационного метода Риддера [5]. На рис. 4. представлен график полученной зависимости ускорения якоря от времени при включении реле.

Определение совместного хода тыловых LT_n и фронтных контактов LF_n осуществляется путем сопоставления зависимости движения якоря во время включения реле $x(t)$ и моментов размыкания тыловых и замыкания фронтных контактов:

$$LT_n = x(T_n), LF_n = \delta_{\max} - x(F_n) - \delta_0, \quad (1)$$

где n – номер контактной группы, δ_{\max} – максимальное расстояние между якорем и сердечником, δ_0 – остаточный зазор между якорем и сердечником.

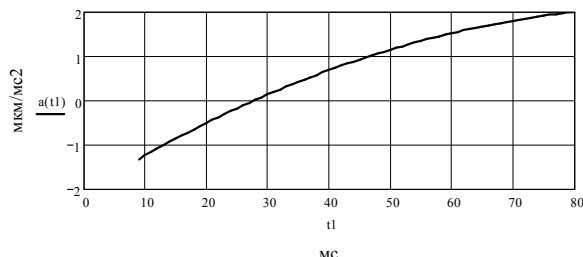


Рис. 4. Ускорение якоря во время включения реле

Определение электромагнитной силы притяжения якоря осуществляется с помощью следующего выражения

$$F_e = \frac{\mu_0 i(t) w^2 S}{8 \delta(t)^2} \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость воздушного зазора, w – количество витков в обмотке реле, S – площадь полюса сердечник реле, $\delta(t)$ – зависимость зазора между якорем и сердечником во время включения реле от времени.

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

$$P_k = P_0 + \Delta P_k = c y_{\text{скр}} + c y_{\text{совм}}, \quad (3)$$

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

Контактная пружина в реле НМШ представляет собой упругую балку, заделанную одним концом и нагруженную сосредоточенной силой F_k на расстоянии L_F от места заделки пружины (рис. 5). 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.

Величина изгиба конца контактной пружины будет равна:

$$y_k = F_k / C, \quad (4)$$

где C – жесткость контактной пружины на единицу силы, которая определяется следующим выражением [6]

$$C = \frac{6 E J}{L_F^2 (3 L_k - L_F)}, \quad (5)$$

где 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, L_F – расстояние от места заделки пружины до места приложения силы F_k , L_k – длина контакта. Момент инерции сечения плоской пружины равен

$$J = \frac{bh^3}{12}, \quad (6)$$

где b – ширина пружины, h – толщина пружины.

Соотношение изгиба пружины контакта в точке приложения силы F_k и на конце пружины контакта P_k , где создается контактное давление, определяется следующим выражением

$$K_k = \frac{\Delta y_k}{\Delta y_F} = \frac{3L_k - L_F}{2L_F}, \quad (7)$$

и для реле НМШ K_k составляет 1,666.

Таким образом, коэффициент передачи между ходом якоря x и ходом контакта y_k составляет для реле НМШ

$$K_{y_k} = K_y K_k = 2,21 \quad (8)$$

Для механической системы реле НМШ (см. рис. 1) можно составить следующее соотношение сил

$$F_e = (F_k + F_g)K_y = (y_k C + mg)K_y, \quad (9)$$

где m – масса якоря, g – ускорение якоря при его движении во время включения реле.

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: $y_{скр}$ и $y_{совм}$. Значение скрытого хода контактов не поддается измерению косвенным методом. Для определения скрытых ходов контактов необходимо решить две системы из n -уравнений, полученные на основании выражения (9), где n – количество контактов в данном реле.

Система уравнений для реле НМШ2-900 с четырьмя группами контактов будет иметь следующий вид:

- для тыловых контактов

$$\begin{cases} F_e(T_1) = K_y(mg(T_1) + (C_T + C_O)4y_{T1} + \\ \quad + C_T y_{TC1}) \\ F_e(T_2) = F_e(T_1) + K_y(mg(T_2) + (3C_T + 4C_O) \times \\ \quad \times (y_{T2} - y_{T1}) + C_T y_{TC2}) \\ F_e(T_3) = F_e(T_2) + K_y(mg(T_3) + (2C_T + 4C_O) \times \\ \quad \times (y_{T3} - y_{T2}) + C_T y_{TC3}) \\ F_e(T_4) = F_e(T_3) + K_y(mg(T_4) + (C_T + 4C_O) \times \\ \quad \times (y_{T4} - y_{T3}) + C_T y_{TC4}) \end{cases}$$

- для фронтальных контактов

$$\begin{cases} F_e(F_1) = F_e(T_4) + K_y(mg(F_1) + 4C_O \times \\ \quad \times (\delta_{max} - \delta_0 - y_{T4} - y_{F1}) + C_F y_{FC1}) \\ F_e(F_2) = F_e(F_1) + K_y(mg(F_2) + (C_F + 4C_O) \times \\ \quad \times (y_{F1} - y_{F2}) + C_F y_{FC2}) \\ F_e(F_3) = F_e(F_2) + K_y(mg(F_3) + (2C_F + 4C_O) \times \\ \quad \times (y_{F2} - y_{F3}) + C_F y_{FC3}) \\ F_e(F_4) = F_e(F_3) + K_y(mg(F_4) + (3C_F + 4C_O) \times \\ \quad \times (y_{F3} - y_{F4}) + C_F y_{FC4}) \end{cases}$$

где T_i, F_i – это моменты времени в порядке размыкания тыловых и замыкания фронтальных контактов при включении реле, C_T, C_O, C_F – жесткость пружин, соответственно тыловых, общих и фронтальных контактов, y_{Ti}, y_{Fi} – совместный ход тыловых и фронтальных контактов, y_{TCi}, y_{FCi} – скрытый ход тыловых и фронтальных контактов.

Решив данные системы уравнений можно определить скрытый ход каждого контакта реле, и следовательно определить предварительное нажатие контактов реле P_0 .

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.

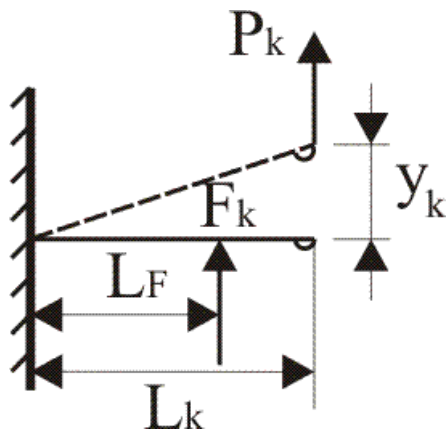


Рис. 5. Конструкция одного контакта реле НМШ

Результаты экспериментальных измерений

В таблице 1 приведены обобщенные результаты экспериментальных измерений контактного давления граммометром часового типа и результаты вычислений контактного давления по предлагаемому методу для реле НМШ. Так как измерение контактного давления граммометром часового типа дает достаточно большую погрешность, то для получения более достоверных результатов измерение 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. Сравнительный анализ данных результатов показал, что отклонение вычисленного и измеренного значений контактного давления не превышает 12,6% для фронтных контактов и 10,3% для тыловых контактов.

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

Метод автоматизированного определения контактного давления, рассмотренный в данной статье, не подходит для медленнодействующих реле железнодорожной автоматики, парк которых составляет около 15 % от всех реле находящихся в эксплуатации. Это связано с особенностями конструкций таких реле, в которых на сердечнике размещается медная гильза (короткозамкнутый виток), что снижает индуктивность обмотки реле и поэтому они имеют другую форму тока в обмотке реле $i(t)$. Она практически совпадает с формой напряжения подаваемого на обмотку реле при включении, т.е. имеет форму близкую к прямоугольному импульсу. Определение контактного давления в медленнодействующих реле, осуществляется другим методом, который основан на расчете магнитной цепи реле.

Выводы

Разработанный метод автоматизированного определения контактного давления реле железнодорожной автоматики типа НМШ и РЭЛ реализован в виде программного обеспечения, функционирующего в составе измерительного диагностического комплекса для контроля параметров реле. Метод позволяет решить комплексную задачу автоматизации определения механических параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики без снятия кожуха в соответствии с эксплуатационно-техническими требованиями к реле первого класса надежности. Анализ полученной 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 [Текст] / М. С. Подгайченко, Р. Ш. Ягудин // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – №9. – С. 19-20.

2. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ): ЦШЕОТ/0012: Затв. Гол. упр. зв'язку, енергетики та обчислювальної техніки М-ва транспорту України 05.10.1998. – Київ, 1998. – 72 с.
3. Стенд для перевірки реле СЦБ. Розробка пропозицій по створенню стенда на базі КТС-ЛІУС-2. Отчет по НИР / ДИИТ. - № 353/3803. – Днепропетровск, 1983. – 54 с.
4. Профатилов, В. И., Разгонов, А. П., Андреевских, А. В., Бондаренко, Б. М. Измерительный диагностический комплекс для проверки реле [Текст] / В. И. Профатилов, А. П. Разгонов, А. В. Андреевских, Б. М. Бондаренко // Автоматика, связь и информатика – 2009. - № 10. – с. 14 – 17.
5. Калитки, Н. Н. Численные методы [Текст] / Н. Н. Калитки. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
6. Витенберг, М. В. Расчет электромагнитных реле [Текст] / М. В. Витенберг – М.: Энергия, 1975. – 416 с.

Ключові слова: контактний тиск, реле залізничної автоматики, якір, вимірювання механічних параметрів.

Ключевые слова: контактное давление, реле железнодорожной автоматики, якорь, измерения механических параметров.

Key words: contact pressure, railway automation relay, anchor, measuring automation of mechanical parameters.

Поступила в редколлегию 23.12.2010.

Принята к печати 24.12.2010.

Таблица 1

Результаты измерения контактного давления для реле НМШ2-900

№ контакта	Совместный ход контактов		Экспериментальные данные		Расчетные данные	
	тыловых	фронтowych	тыловые	фронтowych	тыловые	фронтowych
	$Y_{т\bar{t}}$, мм	$Y_{ф\bar{f}}$, мм	$P_{кт}$, гр	$P_{кф}$, гр	$P_{кт}$, гр	$P_{кф}$, гр
21-23	0,484	0,649	44	50	48	57
41-43	0,546	0,419	36	65	39	60
61-63	0,363	1,364	37	70	40	64
81-83	0,244	0,598	18	65	20	61

