

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

Цифровой аппаратно - программный комплекс для диагностики реле железнодорожной автоматики

Введение

Несмотря на внедрение микропроцессорной и вычислительной техники в системы железнодорожной автоматики электромагнитные реле продолжают оставаться основной элементной базой в устройствах железнодорожной автоматики в Украине. Сейчас в Украине в основном эксплуатируются релейные системы автоматики, реализованные на реле первого класса надежности типа НМШ или 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 механических 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 15 % реле первого класса надежности выпускаются в эксплуатацию с нарушением ЭТТ [3].

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. Современное развитие вычислительной техники позволяет усовершенствовать технологию проверки параметров реле железнодорожной автоматики за счет автоматизации процессов измерения и использования программных средств диагностики. Во многих странах, использующих электромагнитные реле в железнодорожной автоматике, достаточно успешно решаются вопросы контроля электрических и временных параметров электромагнитных реле с помощью различных автоматических цифровых устройств и систем. Например, автоматическая тестовая система Automatic Relay Test System INDIA индийского производства, RelayPro United Kingdom производства Великобритании, автоматический программный комплекс ИАПК РТУ российского производства.

Однако даже с использованием современного микропроцессорного оборудования остаются нерешенными проблемы надежного контроля механических параметров электромагнитных реле. В настоящее время для этого используются методы и технологии, разработанные в середине прошлого столетия. Причем выполнение ремонтно-профилактических работ требует высокой квалификации специалистов, выполняющих вручную основной объем технологических операций по измерению и контролю механических параметров реле. Такие работы предусматривают значительное время, в

том числе разборку и сборку проверяемого прибора, независимо от его фактического состояния.

Современная технология профилактических работ релейной аппаратуры должна включать тестовый контроль особенно механических параметров электромагнитных реле и оптимизацию межремонтного периода. Данная проблема может быть решена с помощью устройства и методов для измерения параметров электромагнитных реле, предложенных и запатентованных авторами статьи. Использование предлагаемого устройства и методов успешно решает проблему обеспечения надежности работы электромагнитных реле на основе компьютерной технологии, включающей автоматическое тестирование основных параметров реле с последующей оценкой реакции объекта и ее сравнением с эталонной. Кроме того, по принятым критериям, например, по запасу ресурса, может определяться оче-

редней межремонтный период, что позволяет перейти к более эффективному обслуживанию реле по его текущему состоянию, поскольку своевременное обнаружение дефектов экономит средства на устранение последствий отказов.

Описание устройства и метода

Авторами данной работы был разработан многоканальный цифровой аппаратно-программный комплекс (ЦАПК), предназначенный для проверки и диагностики реле первого класса надежности типов НМШ и РЭЛ, который позволяет измерять в автоматическом режиме электрические и временные параметры реле, а также программно вычислять механические параметры. Структурная схема ЦАПК представлена на рис. 1.

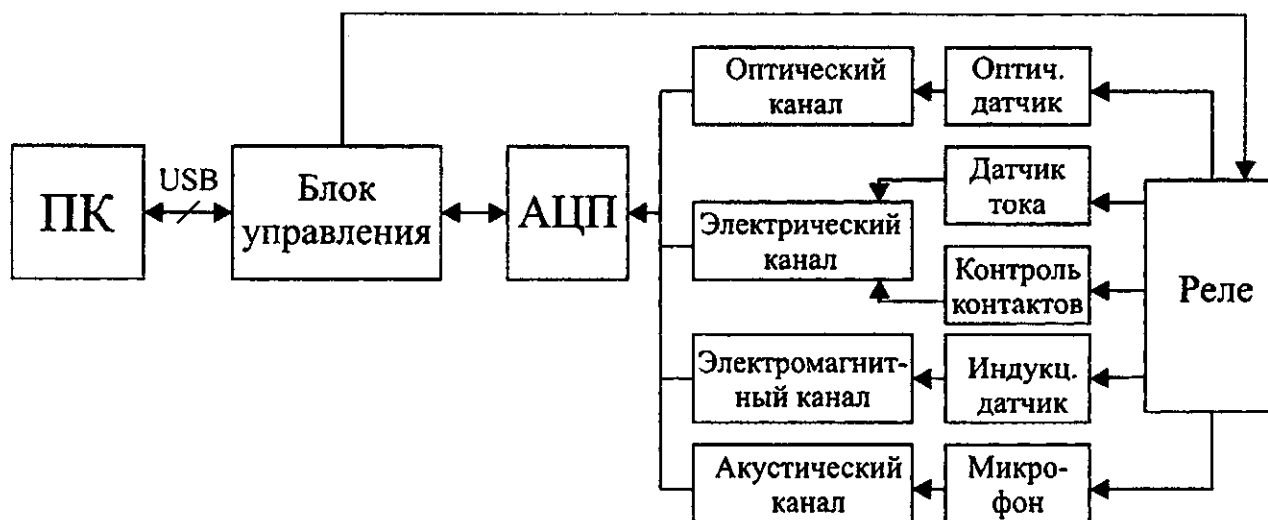


Рисунок 1 – Структурная схема многоканального цифрового аппаратно-программного комплекса

ЦАПК представляет собой автоматизированное рабочее место электромеханика, регистрирующее динамические характеристики реле одновременно по четырем информационно-измерительным каналам: электрическому, электромагнитному, акустическому и оптическому без снятия защитного кожуха реле. Устройство подключается к компьютеру через USB-порт и позволяет оцифровывать аналоговые сигналы по 32 каналам с частотой дискретизации 5 кГц по каждому каналу. Динамические характеристики работы реле снимаются при помощи аналоговых датчиков, установленных вместе с блоком реле на платформе в специальной камере, преобразуются в цифровой код с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и передаются в компьютер для дальнейшего анализа. После этого производится программная обработка полученных данных и сравнение результатов с записанными в памяти компьютера допусками. В ЦАПК ис-

пользуется сертифицированное АЦП типа LCARD E – 140, что обеспечивает высокую степень точности результатов при минимальных затратах средств, времени и минимальных требованиях к квалификации специалистов, выполняющих эту работу.

В электрическом канале производится регистрация тока в обмотке реле при включении и выключении, напряжения на обмотке реле, а также временная диаграмма состояния контактов реле с возможностью контроля восьми фронтальных и восьми тыловых контактов. Частота опроса каналов позволяет фиксировать даже длительность дребезга контактов и оценивать характер коммутационных процессов и качество контактных поверхностей, выявлять дефектные и неисправные контакты.

Оптический канал производит регистрацию динамического изменения физического зазора между якорем и сердечником, характеризующего механическое

перемещение якоря реле. Акустический канал регистрирует вибрацию, сопровождающую все механические перемещения, происходящие в блоке реле, и имеющую в своем составе широкий спектр и различную амплитуду составляющих акустического сигнала. Акустические диаграммы работы реле дополняют информацию, полученную в электрическом и оптическом канале.

Изменение электромагнитной индукции фиксируется индукционным датчиком (электромагнитный канал), установленным вблизи физического зазора между якорем и полюсным наконечником. Измерения магнитного потока вдоль сердечника, а также в зазоре между якорем и полюсными наконечниками показали, что в зоне зазора наблюдается довольно значительное выпучивание магнитных силовых линий поля. Это обстоятельство послужило основанием для разработки индукционного датчика, помещенного вне кожуха реле в поле выпучивания (рассеивания) поля вблизи зазора «якорь - полюсный наконечник». Исследования показали, что с помощью индукционного датчика можно получить интересные нас параметры, в частности определить индукцию в сердечнике, как для нормальнодействующих, так и для медленнодействующих реле, в момент трогания и движения якоря, тяговые усилия при заданном напряжении питания, частоту и амплитуду вибрации подвижной системы реле, время затухания колебаний, приведенную массу якоря и др.

Персональный компьютер через блок согласования и управления обеспечивает программное управление работой проверяемого реле и АЦП, обработку полученных данных, сравнение результатов с записанными в памяти допусками и вывод результатов проверки реле на монитор и принтер.

По итогам такого анализа делается вывод об исправности проверяемого реле, оценка динамики изменения его параметров и прогноз состояния через определенный период времени, а также рассчитывается оптимальный межремонтный период. Данные исследований сохраняются в электронном виде в базе данных и распечатываются для документаций.

В настоящее время измерение контактного давления в РГУ производится 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.

Разработанный авторами статьи 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.

Новый метод определения механических параметров для реле железнодорожной автоматики типа НМШ и РЭЛ заключается в программной обработке данных, полученных с помощью устройства ввода аналоговых сигналов в компьютер, обеспечивающего одновременную регистрацию временных диаграмм состояния контактов, а также положения якоря реле от времени $\delta(t)$ с помощью оптического датчика. Для обработки полученных данных используются численные методы, которые очень хорошо реализуются программно на современной вычислительной технике.

Исходными данными для определения контактного давления являются параметры элементов конструкции реле НМШ (рис. 2): вес якоря F_g , соотношение плеч якоря $K_a = b/a = 1,324$ и контактной пружины K_k , конструкция контактной системы, а также параметры, которые определяются с помощью ЦАПК:

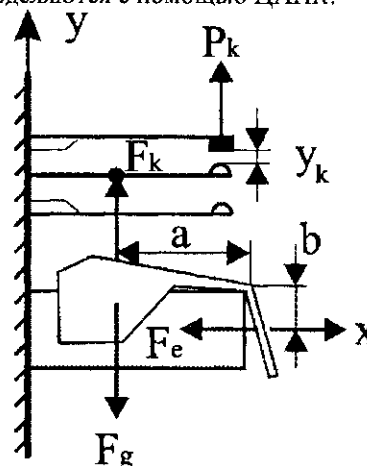


Рисунок 2 – Конструкция контактной системы реле НМШ

- зависимость зазора между якорем и сердечником от времени $x(t)$ во время включения реле, позволяющая определить моменты трогания и остановки 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).

Все данные оцифровываются с помощью аналого-цифрового преобразователя и записываются в память компьютера для дальнейшей математической обработки с помощью программного обеспечения, реализованного на языке высокого уровня C++.

Исходные данные $x(t)$ и $i(t)$ представлены дискретными значениями, поэтому для определения значений функций между узловыми точками необходимо про-

вести 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. 3. представлены зависимости $x(t)$ и $i(t)$, полученные с использованием интерполяционной формулы Ньютона [4].

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 и имеет разрывы в узловых точках. Поэтому исходная зависимость $x(t)$ на участке движения якоря заменяется гладкой функцией $fx1(t1)$ с помощью полиномиальной регрессии четвертой степени.

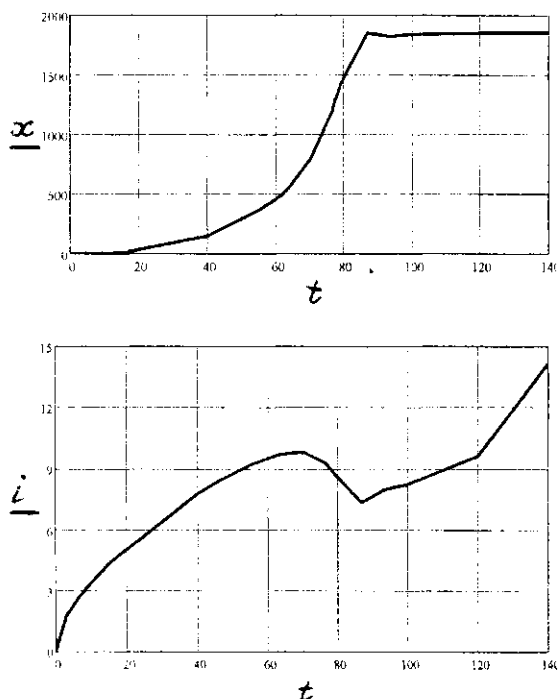


Рисунок 3 – Исходные данные $x(t)$ и $i(t)$

При таком коэффициенте полиномиальной регрессии функции $x(t)$ и $fx1(t1)$ имеют минимальное расхождение (рис. 4). Значения функции $fx1(t1)$ необходимы только до момента замыкания последнего фронтального контакта, поэтому данную функцию можно не продлевать до момента остановки якоря, что повышает точность совпадения функций $x(t)$ и $fx1(t1)$.

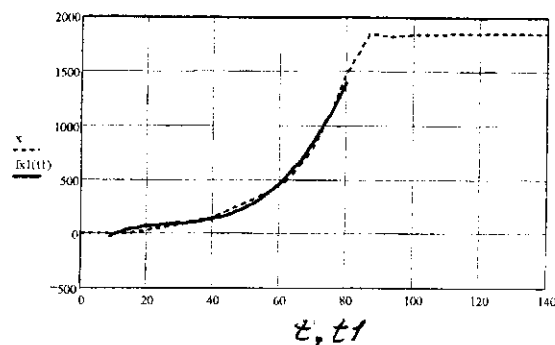


Рисунок 4 – Зависимости $x(t)$ и $fx1(t1)$

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

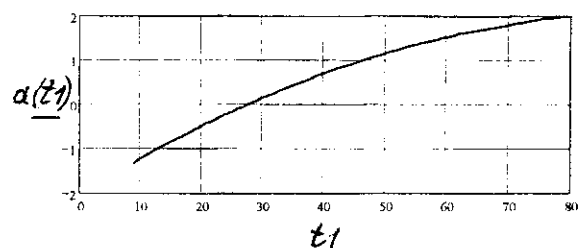


Рисунок 5 – Ускорение якоря во время включения реле

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

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

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

Определение электромагнитной силы притяжения якоря осуществляется с помощью следующего выражения

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

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 фронтальные и тыловые контакты P_0 и силой

реакции совместного хода контактных пружин ΔP_k :

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

где c – жесткость контактных пружин, $y_{скр}$ – скрытый ход контакта, который он бы прошел, если бы не опирался на регулировочную пластину, $y_{совм}$ – совместный ход фронтального (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. 6). 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.

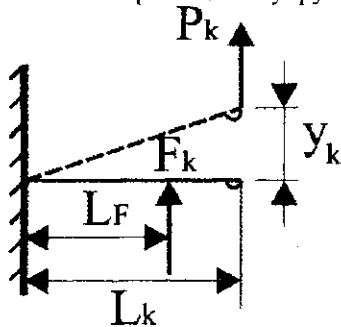


Рисунок 6 – Конструкция одного контакта реле НМШ

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 [5]

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

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

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

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

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

и для реле НМШ K_k составляет 1,67.

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

$$K_{Yk} = K_{\alpha} K_k = 2,21. \quad (8)$$

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

$$F_e = (F_k + F_g) K_{\alpha} = (y_k C + m a) K_{\alpha}, \quad (9)$$

где m – масса якоря, a – 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

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

- для фронтальных контактов

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

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, соот-

ветственно тыловых, общих и фронтальных контактов, $У_{тл}$, $У_{фл}$ - совместный ход тыловых и фронтальных контактов, $У_{тск}$, $У_{фск}$ - 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 .

Результаты экспериментальных измерений

В табл. 1 приведены обобщенные результаты экспериментальных измерений контактного давления графометром часового типа и результаты вычислений

контактного давления по предлагаемому методу для реле НМШ. Так как измерение контактного давления графометром 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 фронтальных контактов и 10,3% для тыловых контактов.

Таблица 1 – Результаты измерения контактного давления для реле НМШ2-900

№ контакта	Совместный ход контактов		Экспериментальные данные		Расчетные данные	
	тыловых	фронтальных	тыловые	фронтальные	тыловые	фронтальные
	$У_{тл}$, мм	$У_{фл}$, 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

Разработанный метод автоматизированного определения контактного давления реле железнодорожной автоматики типа НМШ и РЭЛ реализован в виде программного обеспечения, функционирующего в составе ЦАПК 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. 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 30 % 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 другими методами, разработанными авторами, которые основаны на расчете магнитной цепи реле и идентификации усилий, развиваемых электромагнитной системой нормальнодействующих реле, имеющих одинаковую конструкцию контактных групп и магнитной цепи.

Выводы

Предлагаемая методика диагностики реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ с помощью ЦАПК позволяет автоматизировать измерения механических параметров реле без снятия кожуха. Погрешность вычисления механических параметров реле, которая обеспечивается данным методом, позволяет использовать его на практике вместо существующей технологии проверки электромагнитных реле первого класса надежности. ЦАПК предоставляет возможность определять такие механические параметры реле: высоту антимангнитного штифта, физический зазор между якорем и сердечником, совместный ход каждой группы контактов, одновременность замыкания контактов, контактное давление, а также снимать все необходимые электрические и временные параметры в автоматическом режиме, что дает значительную экономию трудозатрат при входном и выходном контроле реле в

РТУ. Кроме того, реализуются условия для оптимизации межремонтного периода, тестового контроля каждого реле и снижается зависимость качества проводимых работ от квалификации специалиста. Данный комплекс и реализованные в нем методы позволяют контролировать реле железнодорожной автоматики по их техническому состоянию с архивацией результатов этого контроля.

Література

1. Подгайченко М. С., Ягудин Р. Ш. Эксплуатационно-технические требования к реле СЦБ // 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 проверки реле СЦБ. Разработка предложений по созданию стенда на базе КТС-ЛИУС-2. Отчет по НИР / ДИИТ. - № 353/3803. – Днепропетровск, 1983. – 54 с.
4. Калиткин Н. Н. Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
5. Витенберг М. В. Расчет электромагнитных реле. – М.: Энергия, 1975. – 416 с.

Резюме

В данной статье описано устройство цифрового аппаратно-программного комплекса для диагностики реле и предложен метод автоматизированного определения контактного давления реле железнодорожной автоматики. Метод основывается на особенностях конструкции электромагнитных реле железнодорожной автоматики, в которых отпадание 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

У даній статті описана побудова цифрового апаратно-программного комплексу для діагностики реле і запропоновано метод автоматизованого визначення контактного тиску реле залізничної автоматики. Метод ґрунтується на особливостях конструкції електромагнітних реле залізничної автоматики, у яких відпадання якоря здійснюється під дією власної ваги якоря. Даний метод дозволяє вирішити комплексне завдання автоматизації вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики без зняття кожуха відповідно до експлуатаційно-технічних вимог до реле першого класу надійності

In the given article the device of a digital hardware-software complex for diagnostics of the relay is described and a method is offered of the automated definition of contact pressure of railway automation relay. A method is based on the features of construction of electromagnetic railway automation relays, in which falling off of anchor is carried out under action of own anchor weight. The given method allows deciding a complex task of measuring automation of mechanical parameters of electromagnetic railway automation relays without the removal of casing in accordance with the operating-technical requirements to the first class reliability relay

Ключові слова: діагностика реле, апаратно-программний комплекс

Поступила 10.04.2010 г.