

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.25:621.318-047.38

В. И. ГАВРИЛЮК^{1*}

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕЙТРАЛЬНОГО РЕЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Цель. Научная работа предусматривает разработку метода контроля механических параметров нейтрального реле железнодорожной автоматики путем анализа токов в обмотке и контактах реле при его переключениях на основе вейвлет-преобразования. **Методика.** В основу методики положен анализ токов в обмотке и контактах реле при его переключениях на примере дискретного вейвлет-преобразования (ДВП). **Результаты.** Измерены и проанализированы временные зависимости токов в обмотке и контактах при включении и выключении реле (находящихся в исправном состоянии и с дефектами), полученные при различных напряжениях на катушке (10, 12 и 14 В). При увеличении напряжения, подаваемого на обмотку реле, скорость нарастания тока в обмотке заметно увеличивалась, но постоянная времени цепи изменялась незначительно. Максимальные значения тока, при которых якорь начинал движение для исправных реле, мало зависели от приложенного напряжения. Для участка зависимости, при которой якорь полностью притянут, постоянная времени нарастания тока также мало зависела от приложенного напряжения. Аналогичные результаты получены для постоянной времени уменьшения тока при выключении напряжения и при удержании якоря. Ток трогания и ток отпускания якоря увеличивались для реле с грузом на якоре пропорционально весу груза, а также для реле с тыловым контактом, изогнутом вниз, в то время как при изгибе тылового контакта вверх эти токи имели меньшие значения. Крупномасштабные (низкочастотные) коэффициенты ДВП могут быть использованы для более точного сопоставления токов трогания, отпускания и постоянных времени переходных процессов. Коэффициенты малого масштаба ДВП (высокочастотные) могут быть использованы в качестве отличительных признаков дефектов подвижной системы реле. **Научная новизна.** Впервые, на основе проведенного исследования, предложено использовать детализирующие коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования в качестве признаков дефектов подвижной системы реле. Аппроксимирующие (сглаживающие) коэффициенты могут быть использованы для более точного сопоставления токов трогания, отпускания и постоянных времени переходных процессов для выявления дефектов электромагнитной системы реле. **Практическая значимость.** Проведенные автором исследования могут быть использованы для разработки автоматизированного стенда контроля технического состояния нейтральных реле железнодорожной автоматики.

Ключевые слова: электромагнитное реле; контроль параметров; вейвлет-преобразование

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Введение

Несмотря на наблюдаемый в последние десятилетия значительный прогресс в разработке микроэлектронных и компьютерных систем железнодорожной автоматики, применение релейно-контактной аппаратуры в устройствах сигнализации и связи остается достаточно широким. Этим объясняется интерес к исследованию электромеханических процессов, протекающих в реле при его переключениях [1–6, 11–13, 16, 17].

Для обеспечения необходимого уровня надежности и безопасности функционирования релейных систем автоматики, основные параметры электрических реле необходимо периодически контролировать [1–2, 4, 5]. Этот процесс выполняют вручную, что требует значительных затрат времени и не обеспечивает необходимой точности. Описанные в литературе устройства для автоматизации контроля параметров реле не нашли широкого практического применения из-за ограниченности их функциональных возможностей, в частности, из-за невозможности автоматизированного контроля механических параметров реле. Наиболее перспективным представляется метод, основанный на анализе осциллограмм тока через обмотку реле при его включении и выключении [7]. Однако низкая разрешающая способность этого метода не позволяла выявлять характерные диагностические признаки механических дефектов реле на начальной стадии их возникновения [4, 5]. Способ автоматизации контроля параметров нейтральных реле железнодорожной автоматики, основанный на сопоставлении результатов математического моделирования электромеханических процессов, протекающих в реле при его включении и выключении, с результатами измерений токов, протекающих через обмотку и контакты реле в исправном состоянии и с определенными механическими дефектами, предложен в [4]. Метод позволил выявить временные и механические дефекты, связанные с нарушением регулировки подвижной системы реле, в частности, – неодновременность замыкания и размыкания контактов различных групп, дребезг контактов. Однако результаты контроля механических параметров реле были недостаточно точными. Причиной этого является использование полу-

эмпирических выражений для описания магнитного сопротивления воздушного зазора, антимангнитного штифта между якорем и сердечником, магнитных потоков в сердечнике, потоков рассеяния, вихревых токов в стали [3, 8]. Эти параметры зависят от величины воздушного зазора δ , скорости перемещения якоря и т.д. Суммарная погрешность при использовании этих формул может достигать 20–30 %, что неприемлемо для практического использования [3, 8].

Для выявления механических дефектов электромагнитного реле перспективным представляется метод, основанный на анализе временных зависимостей токов через обмотку и контакты реле при его переключениях с применением аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) [6, 11]. Для обучения ИНС требуется использование большого количества токовых характеристик для реле, отрегулированного в соответствии с технологическими требованиями и реле с определенными заранее заданными механическими дефектами. Это также затрудняет практическое применение метода. Сокращение времени обучения ИНС возможно на основе предварительной обработки экспериментальных данных. Учитывая незначительные локальные изменения во временных зависимостях токов в обмотке и контактах реле, появляющиеся при возникновении механических дефектов, перспективным для предварительной обработки результатов измерений является метод вейвлет-анализа сигналов [9, 10, 14, 15].

Цель

Целью работы является разработка метода контроля механических параметров нейтрального реле железнодорожной автоматики путем анализа токов в обмотке и контактах реле при его переключениях на основе вейвлет-преобразования.

Для достижения поставленной цели необходимо выявить характерные признаки дефектов реле, проявляющиеся в вейвлет-спектрограммах.

Методика

В основу методики положен анализ токов в обмотке и контактах реле при его переключениях. Типичная временная зависимость тока

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

в обмотке реле при включении ее на постоянное напряжение U_1 в момент времени $t=0$ и выключении в момент времени t_3 путем отсоединения обмотки от источника питания и замыкания накоротко [4–6] приведена на рис. 1. После подачи на обмотку реле напряжения ток в обмотке, вследствие индуктивного характера ее сопротивления, нарастает по закону, близкому к экспоненциальному, что приводит к увеличению магнитного потока в сердечнике и магнитопроводе реле и, соответственно, к увеличению силы притяжения якоря. При токе i_1 сила магнитного притяжения f_m превысит механическую силу противодействия движению якоря f_c и якорь начнет перемещаться. При этом зазор между якорем и сердечником будет уменьшаться от $\delta = \delta_0$ до $\delta = \delta_s$, где δ_s – высота антимагнитного штифта. В процессе движения якоря силы f_m и f_c изменяются, и полное притяжение якоря возможно при условии $f_m > f_c$ для всех значений δ . В момент времени t_2 якорь полностью притянется и ток в обмотке реле продолжит увеличиваться по закону, близкому к экспоненциальному, но с другой постоянной времени процесса. В момент времени t_3 напряжение на обмотке выключается и обмотка замыкается накоротко.

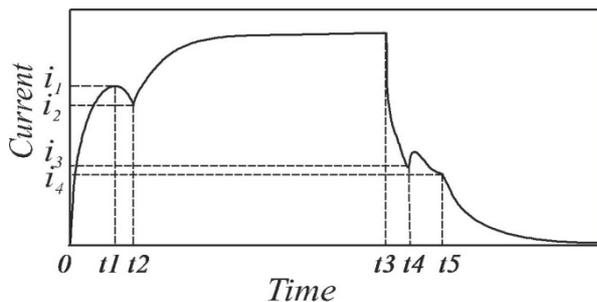


Рис. 1. Временная зависимость тока через обмотку реле при включении и выключении напряжения

Fig.1. Time dependence of the current in relay coil under voltage set-on and set-off

Ток в обмотке уменьшается в интервале $t_3..t_4$ по закону, близкому к экспоненциальному. В момент времени t_4 сила магнитного притяжения якоря уменьшается до значения силы, стремящейся вернуть якорь в исходное положение (обусловленной весом якоря и упруго-

стью пружин), и якорь начнет двигаться (интервал $t_4..t_5$). В момент времени t_5 якорь займет первоначальное положение ($\delta = \delta_0$).

При включении реле происходит размыкание тыловых (нормально замкнутых) контактов и замыкание фронтowych (нормально разомкнутых), а при выключении, соответственно, процесс протекает в обратном направлении.

При переключении контактов возникают упругие силы изгиба контактных пластин и контактных пружин, что также находит свое отражение на временных зависимостях тока в обмотке катушки (рис. 1).

Типы и параметры нейтральных реле железнодорожной автоматики, для которых проведены исследования, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Типы и параметры реле

Table 1

Relay type and parameters

Номер реле	Тип реле	$R_{ном}$, Ом	U_a , В	U_r , В
R1	НМШ1-500	500	7,3	2,4
R2	НМШ1-500	500	7,3	2,4
R3	НМШ1-2000	2000	16	6-9
R4	НМШ2-900	900	7,5	2,3
R5	НМШ1-500	500	7,3	2,4
R6	НМШ2-1000	1000	7,5	2,3
R8	НМШ2-900	900	7,5	2,3
R9	НМШ4-720	720	7,5	2,3
R10	НМШ4-600	600	7,5	2,3

В таблице приведены следующие параметры: $R_{ном}$ – номинальное сопротивление обмотки реле; U_a – напряжение полного притяжения якоря; U_r – напряжение отпускания якоря.

Для каждого реле проведены измерения при различных значениях напряжения, подаваемого на обмотку в исправном отрегулированном состоянии, а также после внесения ряда механических дефектов путем закрепления на якоря определенного груза, закладки тонкой пластины между контактами, изгиба контактных пла-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

стин и контактных пружин или путем полного изъятия контактных групп.

При регистрации тока фронтовые и тыловые контакты замыкали между собой, в результате чего ток через них прерывался только при перелете между контактами.

Для записи тока в обмотке и контактах реле последовательно с ними в цепь включали резисторы с определенным сопротивлением, напряжение с которых (пропорциональное силе тока) подавали на вход многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Запись сигнала проводили на компьютер, подключенный к выходу АЦП через USB порт.

Напряжение подавали от стабилизированного источника, при выключении напряжения обмотку отключали от источника и замыкали ее выводы накоротко.

Для выявления характерных признаков дефектов реле записанные токи анализировали с помощью вейвлет-преобразования, для реализации которого использовали WaveletToolbox математического пакета MatLab.

Вейвлет-преобразование. Вейвлет-преобразование позволяет представить непериодический сигнал в частотной и временной области и исследовать каждый компонент разложения с учетом частотной и временной локализации [9, 10, 14, 15].

Различают два типа вейвлет-преобразования – непрерывное (НВП) и дискретное (ДВП). НВП характеризуют как избыточное и обычно используют для анализа сигналов и выделения его характерных особенностей, в то время как ДВП более адекватно в случае необходимости уменьшения данных. Основные положения вейвлет-преобразования изложены во множестве публикаций [9,10,14,15].

НВП сигнала $f(t)$ с конечной энергией, принадлежащего к $L^2(R)$ векторному пространству, определяют как

$$CWT_{\Psi} f(a,b) = \langle f(t), \Psi_{a,b}(t) \rangle := \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{a,b}^*(t) dt,$$

где $\Psi_{ab}(t)$ – функция, образованная изменением масштаба и смещением по времени функции $\Psi(t)$, называемой «материнским вейвлетом»

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

где $a, b \in R, a \neq 0$ – масштабный коэффициент и смещение соответственно. Множитель $|a|^{-\frac{1}{2}}$ используют для нормирования энергии при различных масштабах, знак (*) обозначает комплексное сопряжение.

Исходный сигнал может быть восстановлен на основе инверсного НВП

$$f(t) = \frac{1}{C_{\Psi}} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (CWT_{\Psi} f)_{a,b}(t) \Psi_{a,b}(t) \frac{1}{a^2} da db,$$

где коэффициенты C_{Ψ} определяются в виде

$$C_{\Psi} = \int_0^{\infty} \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega,$$

а $\hat{\Psi}(\omega)$ – Фурье-преобразование от материнского вейвлета.

ДВП сигнала определяется путем дискретизации коэффициентов масштабирования и смещения материнского вейвлета

$$a = a_0^m \text{ и } b = nb_0 a_0^m,$$

где a_0 и b_0 – значения, удовлетворяющие условиям $a_0 > 1, b_0 > 0; m, n \in Z; Z$ – ряд положительных чисел. При этом материнский вейвлет принимает вид

$$\Psi_{m,n}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) dt,$$

а соответствующее дискретное вейвлет-преобразование запишется в виде

$$DWT_{\Psi} f(m,n) = \langle f(t), \Psi_{m,n}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{m,n}^*(t) dt.$$

DWT производит разложение сигнала в полосах с шириной, увеличивающейся линейно с частотой. В случае двоичного преобразования ($a_0 = 2$ и $b_0 = 1$), каждая полоса спектра имеет приблизительно ширину в одну октаву.

Исходный сигнал можно получить в виде ряда

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$f(t) = \sum_m \sum_n C_{m,n} \Psi_{m,n},$$

где коэффициенты $C_{m,n}$ определяются выражением

$$C_{m,n} = \langle f(t), \tilde{\Psi}_{m,n}(t) \rangle.$$

Основная идея вейвлет-анализа заключается в разложении сигнала в спектры с различным масштабом [14, 15], что позволяет изучить его особенности. Алгоритм состоит из последовательности разложений с длительностью $2n$ в набор двух компонент: детализирующих коэффициентов D_j и аппроксимирующих коэффициентов A_j , имеющих меньший размер, равный $2n-j$, где j – уровень разложения. На каждом уровне входной сигнал разлагают с помощью высокочастотного фильтра в ВЧ компоненты и низкочастотного фильтра в НЧ компоненты, которые используются затем для следующего разложения. Дискретный сигнал, проходя через НЧ и ВЧ фильтры, образует два вектора первого уровня с аппроксимирующими коэффициентами A_1 и детализирующими ко-

эффициентами D_1 . Применение аналогичной фильтрации к коэффициентам A_1 приводит к дальнейшему разложению их в аппроксимирующие A_2 и детализирующие D_2 коэффициенты второго уровня. Аналогично производятся разложения до необходимого уровня. Аппроксимирующее разложение является низкочастотным крупномасштабным, а детализирующее – высокочастотным маломасштабным с высоким разрешением.

Результаты

Результаты измерений и анализа приведены для реле с условным номером R10 (табл. 1). Для других реле результаты измерений в целом соответствовали результатам, полученным для реле R10. Это позволяет распространить полученные в работе выводы на все исследуемые типы нейтральных реле (табл. 1), а также использовать результаты для обучения ИНС.

Временные зависимости токов в обмотке и контактах при включении и выключении реле исправного и с дефектами, измеренные при напряжениях на катушке 10, 12 и 14 В, приведены на рис. 2.

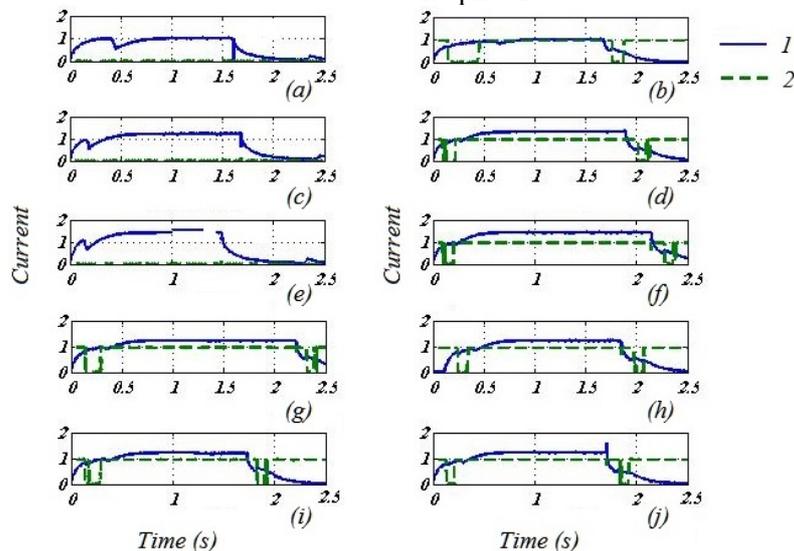


Рис. 2. Временные зависимости тока в обмотке (1) и контактах (2) при включении и выключении реле без контактной группы (a, c, e), с контактной группой (b, d, f), с дополнительным грузом на якоре (g, i), с изогнутым тыловым контактом вверх (h) и вниз (j), измеренные при напряжениях на катушке: 10 В (a, b), 12 В (c, d, g, h, i, j), 14 В (e, f)

Fig. 2. Time dependences of the currents in relay coils (1) and in contacts (2) during relays switching on and off for the relays without contact group (a, c, e), with contact group (b, d, f), with additional weight on armature (g, i), with curved-up back contact (h) with curved-down back contact (j), measured under voltage applied to coils: 10 V (a, b), 12 V (c, d, g, h, i, j), 14 V (e, f)

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Из рисунка видно, что при увеличении напряжения, подаваемого на обмотку реле, скорость нарастания тока в обмотке заметно увеличивалась, но постоянная времени процесса изменялась незначительно. Максимальные значения токов, при которых якорь начинал движение для исправных реле также мало зависели от приложенного напряжения. Это объясняется тем, что сила электромагнитного притяжения пропорциональна магнитному потоку в сердечнике и, соответственно, току в обмотке.

Постоянная времени нарастания тока для участка, при которой якорь полностью притянут ($t_2..t_3$), также мало зависела от приложенного напряжения. Постоянная времени изменения тока при выключении напряжения и ток удержания, измеренные для разных приложенных при включении реле напряжениях, имели близкие значения в пределах погрешности измерений.

Ток трогания и ток отпускания якоря увеличивались для реле с грузом на якоре пропорционально весу груза (рис. 2 (g, i)), а также для реле с тыловым контактом, изогнутом вниз, в то время как для изогнутого контакта вверх эти токи имели меньшие значения.

Таким образом, постоянные времени изменения тока при неподвижном якоре при включении и выключении реле и токи трогания и отпускания якоря могут быть использованы в качестве диагностических признаков исправности электромагнитной системы реле.

По временной зависимости тока в контактах для разных контактных групп можно судить о неоднородности замыкания и размыкания контактов, а также о наличии дребезга контактов (рис. 2).

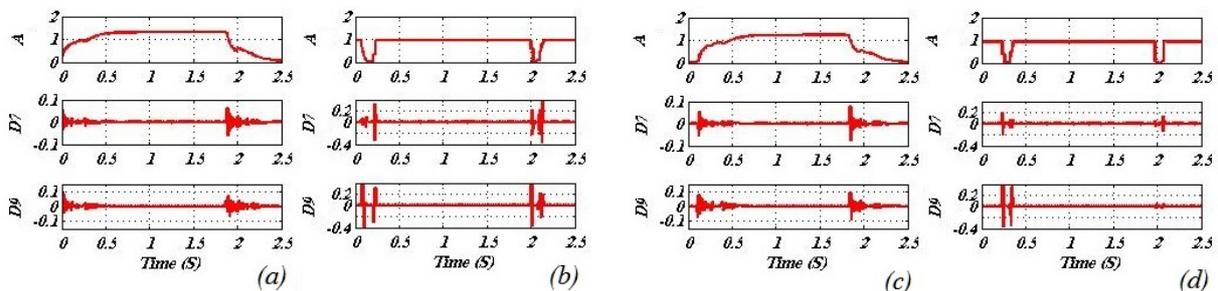


Рис. 3. Временные зависимости коэффициентов ДВП тока в обмотке (a, c) и контактах (b, d) реле в исправном состоянии (a, b) и с изгибами контактов (c, d)

Fig. 3. The time dependences of the coefficients of discrete wavelet transform of the current in relay coil (a, c) and in contacts (b, d) for the operable relay (a, b) and relay with curved contacts (c, d)

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Научная новизна и практическая значимость

Впервые на основе проведенного исследования предложено использовать детализирующие коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования токов в обмотке и контактах реле в качестве диагностических признаков дефектов подвижной системы реле. Аппроксимирующие (сглаживающие) коэффициенты могут быть использованы для более точного сопоставления токов трогания, отпускания и постоянных времени переходных процессов для выявления дефектов электромагнитной системы реле.

Проведенные исследования могут быть использованы для разработки автоматизированного стенда контроля технического состояния нейтральных реле железнодорожной автоматики.

Выводы

С целью разработки метода контроля механических параметров нейтрального реле железнодорожной автоматики проведены исследования и анализ временных зависимостей токов в обмотке и контактах реле при его переключениях для исправных реле и реле с заданными дефектами подвижной системы.

Постоянные времена изменения токов при неподвижном якоре при включении и выключении реле и токи трогания и отпускания якоря могут быть выбраны в качестве диагностических признаков электромагнитной системы реле.

Крупномасштабные (низкочастотные) коэффициенты ДВП могут быть использованы для более точного сопоставления токов трогания, отпускания, постоянных времени переходных процессов при выявлении дефектов.

Коэффициенты малого масштаба ДВП (высокочастотные) могут быть использованы в качестве признаков дефектов подвижной системы реле.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко, Б. М. Автоматизированный комплекс диагностики реле железнодорожной автоматики / Б. М. Бондаренко // Электромагнитна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2012. – № 3. – С. 68–76.
2. Бондаренко, Б. М. Акустичний контроль електромагнітних приладів забезпечення безпеки руху залізничного транспорту / Б. М. Бондаренко // Электромагнитна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2013. – № 5. – С. 38–45.
3. Витенберг, М. В. Расчет электромагнитных реле / М. В. Витенберг. – Москва : Энергия, 1975. – 416 с.
4. Гаврилюк, В. И. Автоматизация контроля параметров нейтральных реле железнодорожной автоматики / В. И. Гаврилюк, В. И. Профатилов // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2002. – № 4/5. – С. 83–86.
5. Гаврилюк, В. И. Диагностирование релейно-контактных устройств железнодорожной автоматики / В. И. Гаврилюк, В. Ю. Дуб // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 12. – С. 7–11.
6. Дуб, В. Ю. Диагностирование состояния реле с использованием искусственных нейронных сетей / В. Ю. Дуб // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 29. – С. 126–130.
7. Корсунский, Г. М. Применение метода осциллографического анализа динамических характеристик электромагнитных реле для его технической диагностики / Г. М. Корсунский, А. Ф. Мироненко, П. С. Федоренко // Техника средств связи. Серия: Техника проводной связи : науч.-техн. сб. – Москва, 1979. – Вып. 5 (38). – С. 41–50.
8. Сливинская, А. Г. Электромагниты и постоянные магниты / А. Г. Сливинская. – Москва : Энергия, 1972. – 248 с.
9. Chui, C. K. An Introduction to Wavelets / C. K. Chui. – Pennsylvania : Academic Press, 1992. – 264 p.
10. Daubechies, I. Ten Lectures on Wavelets / I. Daubechies // CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. – Philadelphia, 1992. – 378 p.
11. Dub, V. Development of neural network program for automated testing of railway contact blocks / V. Dub, V. Gavrilyuk // Archives of Transport System Telematics. – 2009. – Vol. 2. – Iss. 2. – P. 16–18.
12. Electromagnetic relay modelling: a multi physics problem. Part 2 : Dynamical behavior of the relay / M-A. Raulet, F. Sixdenier, R. Marion [et al.] // Compumag, 2007 : Proc. of 16th Intern. Conf. on the Computation of Electromagnetic Fields

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- (24.06–28.06.2007). – Aachen, Germany, 2007. – P. 125.
13. Laboreo, E. R. A New Model of Electromechanical Relays for Predicting the Motion and Electromagnetic Dynamics / E. R. Laboreo, C. Sagues, S. Llorente // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2016. – Vol. 52. – Iss. 3. – P. 2545–2553. doi: 10.1109/TIA.2016.2518120.
 14. Mallat, S. G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation / S. G. Mallat // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1989. – Vol. 11. – Iss. 7. – P. 674–693. doi: 10.1109/34.192463.
 15. Mallat, S. G. A Wavelet Tour of Signal Processing representation / S. G. Mallat. – San Diego : Academic Press : Elsevier, 1999. – 629 p.
 16. Modeling of electromechanical relays taking into account movement and electrical circuits / F. Henrotte, A. Nicolet, H. Hedia [et al.] // IEEE Transactions on Magnetics. – 1994. – Vol. 30. – Iss. 5. – P. 3236–3239. doi: 10.1109/20.312627.
 17. Wattiaux, D. Modelling of the dynamic behavior of electromechanical relays for the analysis of sensitivity to shocks and vibrations / D. Wattiaux, O. Verlinden // Experimental Mechanics. – 2011. – Vol. 51. – Iss. 9. – P. 1459–1472. doi: 10.1007/s11340-011-9478-z.

В. І. ГАВРИЛЮК^{1*}

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

КОНТРОЛЬ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕЙТРАЛЬНИХ РЕЛЕ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ

Мета. Наукова робота передбачає розробку методу контролю механічних параметрів нейтрального реле залізничної автоматики шляхом аналізу струмів в обмотці й контактах реле при його перемиканні на основі вейвлет-перетворення. **Методика.** В основу методики покладено аналіз струмів в обмотці та контактах реле при його перемиканні на прикладі дискретного вейвлет-перетворення (ДВП). **Результати.** Виміряні та проаналізовані часові залежності струмів в обмотці й контактах при включенні і виключенні реле (що знаходяться в справному стані та з дефектами), отримані при різних напругах на котушці (10, 12 і 14 В). При збільшенні напруги, що подається на обмотку реле, швидкість наростання струму в обмотці помітно збільшувалася, але постійна часу ланцюга змінювалася незначно. Максимальні значення струму, при яких якір починав рух для справних реле, мало залежали від прикладеної напруги. Для ділянки залежності, при якій якір повністю притягнутий, постійна часу наростання струму також мало залежала від прикладеної напруги. Аналогічні результати отримані для постійної часу зменшення струму при виключенні напруги та при утриманні якоря. Струм рушання та струм відпускання якоря збільшувалися для реле з вантажем на якорі пропорційно вазі вантажу, а також для реле з тилловим контактом, зігнутих до низу, в той час як при вигині тилового контакту вгору ці струми мали менші значення. Великомасштабні (низькочастотні) коефіцієнти ДВП можуть бути використані для більш точного зіставлення струмів зрушення, відпускання й постійних часу перехідних процесів. Коефіцієнти малого масштабу ДВП (високочастотні) можуть бути використані в якості характерних ознак дефектів рухомої системи реле. **Наукова новизна.** Вперше, на основі проведеного дослідження, запропоновано використовувати деталізуючі коефіцієнти дискретного вейвлет-перетворення в якості ознак дефектів рухомої системи реле. Апроксимуючі (згладжуючі) коефіцієнти можуть бути використані для більш точного зіставлення струмів зрушення, відпускання та постійних часу перехідних процесів для виявлення дефектів електромагнітної системи реле. **Практична значимість.** Проведені автором дослідження можуть бути використані для розробки автоматизованого стенду контролю технічного стану нейтральних реле залізничної автоматики.

Ключові слова: електромагнітне реле; контроль параметрів; вейвлет-перетворення

V. I. HAVRYLIUK^{1*}

^{1*}Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

MECHANICAL PARAMETERS CONTROL OF THE NEUTRAL RELAY OF RAIL AUTOMATICS BASED ON WAVELET ANALYSIS

Purpose. The scientific paper focuses on development of a method for mechanical parameters control of the neutral relay of rail automatics by current analyzing in the coil and the relay contacts at switching based on wavelet transform. **Methodology.** The methodology was based on current analysis of the relay coil and contacts currents under its switching and analysis obtained results by using wavelet transform. **Findings.** The time dependences of the current in coil and in contacts under switching on and off for the operable relays and relays with certain defects have been measured at different voltages applied to coil (10, 12 and 14 V). When voltage applied to coil was increased the rate of coil current increased, but time constant of the circuit was changed with voltage slightly. The current value maximum at which the relay armature begun to move for the operable relays was depended on applied voltage slightly. For the time interval, at which armature was putted to the relay core fully, time constant of the circuit was changed with voltage slightly also. The maximum current value at which the armature starts to move to the relay serviceable little dependent on the applied voltage. For site based in which the anchor is completely dragged constant current rise time is also a little dependent on the applied voltage. Similar results were obtained for the current reduction time constant with turning off the voltage and current confinement. The current pick-up and the current release of the armature increases for the relay with the load anchor is proportional to the weight of cargo, as well as for the relay contact with the rear, bent down, while the flexural rear contact up these currents have smaller values. Large-scale (low-frequency) coefficients of DWT can be used for a more accurate comparison of the current pick-up, and release time constants of the transient. Small scale coefficients fiberboard (HF) can be used as distinguishing traits defects mobile relay system. **Originality.** For the first time, on the basis of the research proposed to use detailing coefficients of a discrete wavelet transform as a symptom of mobile relay system. The approximation (smoothing) ratios can be used for a more accurate comparison of the current pick-up, and release time constants of the transient to detect defects of the electromagnetic relay system. **Practical value.** The studies conducted by the author can be used to develop stand-aided control of a technical condition of the relay neutral railway automation.

Keywords: electromagnetic relays; control parameters; the wavelet transform

REFERENCES

1. Bondarenko B.M. Avtomatizirovanny kompleks diagnostiki rele zheleznodorozhnoy avtomatiki [Automated complex for diagnostic relays of railway automation]. *Elektro-mahnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznychnomu transporti – Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 2012, no. 3, pp. 68-76.
2. Bondarenko B.M. Akustychnyi kontrol elektromahnitnykh pryladiv zabezpechennia bezpeky rukhu zaliznychnoho transportutu [Acoustic control of electromagnetic devices to ensure the safety of railway traffic]. *Elektromagnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznitcnomu transporti – Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 2013, no. 5, pp. 38-45.
3. Vitenberg M.V. *Raschet elektromagnitnykh rele* [The calculation of electromagnetic relays]. Moscow, Energiya Publ., 1975. 416 p.
4. Havryliuk V.I., Profatilov V.I. Avtomatizatsiya kontrolya parametrov neytralnykh rele zheleznodorozhnoy avtomatiki [Automation of the control of the parameters of the neutral relay of railway automatics]. *Informatsiino–keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information and Control Systems for Railway Transport*, 2002, no. 4, 5, pp. 83-86.
5. Havryliuk V.I., Dub V.Yu. Diagnostirovaniye releyno-kontaktnykh ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki [Diagnosis of relay-contact devises of railway automatics]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 12, pp. 7-11.
6. Dub V.Yu. Diagnostirovaniye sostoyaniya rele s ispolzovaniyem isskustvennykh neyronnykh setey [The diagnosis status of relays using artificial neural networks]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu*

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 29, pp. 126-130.
7. Korsunskiy G.M., Mironenko A.F., Fedorets P.S. Primeneniye metoda ostsillograficheskogo analiza dinamicheskikh kharakteristik elektromagnitnykh rele dlya yego tekhnicheskoy diagnostiki [Application of oscillographic analysis of the dynamic characteristics of electromagnetic relay for its technical diagnostics]. *Tekhnika sredstv svyazi. Seriya: Tekhnika provodnoy svyazi: nauchno-tekhnicheskyy sbornik* [Engineering Communications. Series: Technology of Wire Line Network: Science and Research Collection], 1979, issue 5 (38), pp. 41-50.
 8. Slivinskaya A.G. *Elektromagnity i postoyannyye magnity* [Electromagnets and permanent magnets]. Moscow, Energiya Publ., 1972, 248 p.
 9. Chui J.T. An Introduction to Wavelets. Pennsylvania, Academic Press Publ., 1992. 264 p.
 10. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets. CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. Philadelphia, 1992. 378 p.
 11. Dub V., Gavrilyuk V. Development of neural network program for automated testing of railway contact blocks. *Archives of Transport System Telematics*, 2009, vol. 2, issue 2, pp. 16-18.
 12. Raulet M-A., Sixdenier F., Marion R. Electromagnetic relay modelling: a multi physics problem. Part 2: Dynamical behavior of the relay. *Compumag, 2007: Proc. of 16th Intern. Conf. on the Computation of Electromagnetic Fields (24.06–28.06.2007)*. Aachen, Germany, 2007. P. 125.
 13. Laboreo E. R., Sagues C., Llorente S. A New Model of Electromechanical Relays for Predicting the Motion and Electromagnetic Dynamics. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2016, vol. 52, issue 3, pp. 2545-2553. doi: 10.1109/TIA.2016.2518120.
 14. Mallat S.G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989, vol. 11, issue 7, pp. 674-693. doi: 10.1109/34.192463.
 15. Mallat S.G. A Wavelet Tour of Signal Processing Representation. San Diego, Academic Press, Elsevier Publ., 1999. 629 p.
 16. Henrotte F., Nicolet A., Hedia H., Genon A., Legros W. Modeling of electromechanical relays taking into account movement and electrical circuits. *IEEE Transactions on Magnetics*, 1994, vol. 30, issue 5, pp. 3236-3239. doi: 10.1109/20.3126275.
 17. Wattiaux D., Verlinden O. Modelling of the dynamic behavior of electromechanical relays for the analysis of sensitivity to shocks and vibrations. *Experimental Mechanics*, 2011, vol. 51, issue 9, pp. 1459-1472. doi: 10.1007/s11340-011-9478-z.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина);
д.физ.-мат.н., проф. А. В. Коваленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 21.07.2016

Принята к печати: 24.11.2016