

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

В работе рассматриваются методы предварительного анализа звуковых сигналов для выделения устойчивых признаков классификации состояний реле, применяемых в системах железнодорожной автоматики. Предложен алгоритм описания звукового сигнала на основе этих признаков.

Ключевые слова: периоды ремонта релейной аппаратуры; акустическая диагностика электромагнитного реле; признаки распознавания; методы обработки акустического сигнала

Введение

Впервые проблема оценки параметров электромагнитных реле была поднята в Уральском отделении Центрального научно-исследовательского института Министерства путей сообщения в 1970 году. Большой вклад в проблему оптимизации периодов ремонта релейной аппаратуры, разработки методов измерений и диагностики внесли такие известные ученые, как: Муравин В. М., Витенберг М. В., Миловзоров В. П., Разгонов А. П., Сапожников В. В. и др.

Сегодня в основном используются диагностические системы проверки реле на основе бесконтактных датчиков следующих типов: емкостные, ультразвуковые, индукционные, оптические, магнитные и др. [1, 2]. До серийного образца дошли только автоматизированные стенды для измерения электрических и временных характеристик реле (<http://vasavi.com/>, <http://mrd.com.au/>, <http://gtss.rzdp.ru/info/181.html>).

Целью работы является формирование устойчивых показателей состояний релейных элементов железнодорожной автоматики на основе акустического сигнала.

Актуальность

Проблема автоматической диагностики работоспособности реле в целом, в том числе и с возможностью измерения механических параметров реле железнодорожной автоматики, непосредственно связана с возможностью измерения хода якоря электромагнитного реле в процессе его работы [3–5]. Проблема автоматического измерения величины зазора между якорем и полюсным наконечником реле в процессе его работы напрямую связана с возможностью автоматической диагностики работоспособности реле в целом, в том числе и с возможностью измерения механических парамет-

ров реле железнодорожной автоматики. Для решения этой задачи в разное время были предложены различные способы и устройства.

Основной проблемой при использовании бесконтактных датчиков для проверки механических параметров реле является малая точность получаемых результатов. Диагностика релейных элементов систем управления с помощью акустических сигналов позволяет повысить точность распознавания неисправностей. Важной задачей в решении этого вопроса является задача выделения устойчивых признаков для проведения процедуры распознавания [6].

Анализ литературных источников. Одним из эффективных методов неконтактного диагностирования радиоэлементов, в том числе и реле, являются акустические методы [7, 8]. Шумовой сигнал реле представляет собой сумму шумовых составляющих сигнала от разных источников. Такой шум может иметь некоторую тональность, которая определяется частотой, соответствующей максимальной амплитуде в его спектре.

Использование акустического метода диагностирования реле во время его проверки по нескольким каналам измерения предложено авторами [9, 10]. Основным элементом измерительного комплекса обработки акустических сигналов на базе аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) является цифровая фильтрация, которая используется для восстановления сигнала после дискретизации и фильтрации ненужных частотных составляющих [10]. Комплекс позволяет определять параметры распределения измеряемой величины, ее максимальное и минимальное значения, стандартное отклонение и корреляционную функцию.

Задача идентификации состояний элементов на основе звуковых сигналов решаются методами распознавания образов [11–14]. Во всех случаях необходимо сформировать признаки

для распознавания, что связано с экспериментальными исследованиями [15, 16]. Известны два метода идентификации шумовых сигналов: на основе частотного (спектрального) анализа и с использованием пространственных характеристик распределения сигналов. При спектральном анализе состояние реле оценивается показателем при котором среднеквадратичный уровень спектральной составляющей, соответствующий шумовому или вибрационному процессу, сравнивается с предельным, который считается типичным для оборудования без дефекта [8, 17].

Выделение признаков распознавания

Звуковые сигналы характеризуются разнообразием свойств и способностью изменяться в зависимости от среды, состояния источника. Одному источнику могут соответствовать разные сигналы относительно выбранных характеристик (показателей) звука. Например, один и тот же человек может произнести одно слово подряд, а произнесенному слову будут соответствовать различные сигналы. Тем не менее, все люди, говорящие на одном языке, понимают друг друга. Следовательно понимание звукового сигнала осуществляется потому, что в звуковом сигнале присутствуют такие физические параметры, независимые от состояния источника звука при производстве одного и того же звукового элемента (например слог, слово и т.п.), которые позволяют распознать сигнал. Указанные физические параметры принято называть фонетическим кодом. Для нахождения фонетического кода необходимо провести предварительный анализ (обработку) звуковых сигналов для получения его признаков, образующих наиболее устойчивую информацию о сигнале. На сегодняшний день нет общепризнанного метода обработки звуковых сигналов [13–15, 17].

Звуковой сигнал обычно рассматривается последовательностью состоящей из стационарных и переходных компонент, классифицируемых в соответствии с сочетанием или характером изменения сегментных признаков. Выбранные признаки должны отражать способ формирования акустического сигнала и составляющие образующих звук. Как правило, обра-

$$y_i = \frac{y_{i-3} + 2 \cdot y_{i-2} + 3 \cdot y_{i-1} + 4 \cdot y_i + 3 \cdot y_{i+1} + 2 \cdot y_{i+2} + y_{i+3}}{16}, \quad i = 1 \dots N$$

несколько раз [19], и каждый раз вычисляются следующие параметры:

ботку сигнала производят последовательно, анализируя сигнал на интервалах времени длительностью в 15...20 микросекунд (мкс). Результаты анализа представляются в виде вектора u , в котором его координаты u_k есть выбранные признаки, образующие передаточную характеристику звукового тракта и параметры источников его возбуждения в рассматриваемый момент времени [14, 17].

Компонентами вектора u_k для текущего интервала анализа могут быть значения автокорреляционной функции

$$u_k = R(k) = \sum_{i=1}^{N-k} y_i \cdot y_{i+k}, \quad k = 0 \dots N-1,$$

где y_i – дискретные значения оцифрованного сигнала, $i = 1 \dots N$.

Сглаженный по частоте энергетический спектр звукового сигнала на дискретной сетке частот ω_m также может быть взят в качестве признаков

$$u_m = Q(\omega_m) = R(0) \cdot g(0) + 2 \sum_{i=1}^m R(i) \cdot g(i) \cdot \cos(\omega_m \cdot i \cdot \pi), \quad m = 1 \dots N-1,$$

где $\omega_m = 2\pi \cdot \Delta t$ – относительная частота;

ν – звуковая частота;

Δt – период дискретизации;

$g(k)$ – импульсная (весовая) функция;

$Q(\omega_m)$ – сглаженный спектр, огибающая спектра сигнала.

Рассмотренный энергетический спектр $Q(\omega_m)$ образует устойчивый по отношению к особым свойствам признаки, обеспечивающие высокую эффективность распознавания при незначительных вычислениях [17, 18].

Последовательность дискретных значений y_i анализируемого звукового сигнала получают с выхода принимающего устройства. Интервал (период) дискретизации в экспериментах составлял 20 мкс. Оцифрованный акустический сигнал сглаживается по формуле

– H_ν – рассматриваемая частота сигнала в текущий момент времени. Определяется подсче-

том максимумов, который определяется по условиям

$$y_i - y_{i-1} > 0 \text{ и } y_i - y_{i+1} > 0;$$

– D_1, D_2, D_3 – количество импульсов длительностью, превышающей соответственно 250, 400, 550 микросекунд. Вычисляется анализом длительности интервалов между максимумами сигнала;

– Y_0 – средняя громкость сигнала, вычисляется подсчетом y_i превышающих некоторое пороговое значение \bar{y} ;

– E_v – энергия сигнала в полосах частот $\nu = \{200, 300, 500, 700, 900, 1100, 1500, 2500\}$ Гц;

– Ω_1, Ω_2 – средние частоты формант. Определяются анализом максимумов энергий E_v в диапазонах частот 200...900 Гц и 700... 2500 Гц, соответственно;

– P_2, P_3, P_5 – признаки наличия шумовых составляющих в частотных областях больше 2 кГц, 3 кГц, 5 кГц.

На основе выбранных признаков могут быть определены бинарные признаки, характеризующие фонетические свойства звукового сигнала.

Признаками состояний электромагнитного реле могут служить так называемые значения пик-факторов, которые характеризуют высокочастотный диапазон частот исследуемого акустического сигнала. Пик-фактор определяется отношением пикового значения к среднеквадратичному значению частоты колебания реле в определенном диапазоне частот. Пик-фактор реагирует на появление отдельных коротких импульсов, связанных с появлением локального дефекта (залипание реле, искрение контактов и т. п.). Поскольку импульсы короткие, они возбуждают высокочастотные составляющие. Ширину полосы частот для фильтрации сигнала берется равной 1/3 октавы. Частотная полоса должна захватывать диапазон собственных частот акустического сигнала реле.

С целью выявления наиболее информативной полосы частот, для расчета пик-фактора, проводилась серия экспериментов, в которых использовалось новое реле и несколько реле с различными дефектами. Проведенные исследования показали, что значения пик- фактора наиболее чувствительны в полосе частот 8,5...12 кГц. В результате обработки экспериментальных данных полу-

чены величины пик- факторов, которые могут быть использованы в качестве признаков для классификации дефектов реле.

Использование пик- фактора целесообразно в целях диагностики локальных дефектов обусловленных высокочастотными составляющими в сигнале. Общий износ реле характеризуется увеличением среднеквадратического значения колебаний реле. Увеличение среднеквадратического значения колебаний реле приводит к уменьшению значения пик-фактора. Последнее необходимо учитывать при формировании диагностических признаков и дальнейшего их использования.

Выводы

Предложенные в работе признаки распознавания состояний электромагнитного реле по его акустическому сигналу позволяют увеличить скорость проведения диагностики, повысить достоверность классификации состояний реле и в целом улучшить систему содержания систем железнодорожной автоматики.

Сформированные признаки классификации могут быть применены при разработке как автономных систем распознавания неисправностей реле, так и в системах диагностики реального времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Совершенствование методов обслуживания и эксплуатации устройств СЦБ [Текст] : отчет по НИР / ЦНИИ МПС. – 553-У-76-78. – Свердловск, 1978. – 162 с.
2. Стенд для проверки реле СЦБ. Разработка предложений по созданию стенда на базе КТС-ЛИУС-2 [Текст] : отчет по НИР ДИИТ – 353/3803. –Д., 1983. –54 с.
3. Кизяков, В. Я. Измерительновычислительный ком- плекс для контроля и измерения параметров электромагнитных реле [Текст] / В. Я. Кизяков, А. Н. Байдуж // Совершенствование и повышение надежности железнодорожных систем автоматики, телемеханики и связи : межвуз. сб. науч. тр. – Д. – 1990. – С. 41–48.
4. Разгонов, А. П. Стенд для автоматической проверки параметров реле СЦБ [Текст] / А. П. Разгонов, А. Н. Байдуж // Автоматика, телемеханика и связь. – 1991. – № 2. – С. 13–16.
5. Грачев, Г. Н. Автоматизированный комплекс ремонтно-технологического участка для проверки реле и релейных блоков [Текст] / Г. Н. Грачев, К. О. Колюжный, Ю. А. Липовецкий // Автоматика, телемеханика и связь. – 1993. – № 5. – С.19–21.
6. Ljung, L. System Identification: Theory for the User [Text] / L. Ljung. Prentice. – Hall. – 1987. – Pp. 278–280.

7. Коллакот, Р. А. Диагностирование технического оборудования [Текст] / Р. А. Коллакот ; под ред. Ю. Н. Мяникова; пер. с англ. – Л. : Судостроение, 1980.
8. Контроль шума в промышленности [Текст] : пер. с англ. / под ред. Дж. Д. Вебба. – Л. : Судостроение. – 1981. – 312 с.
9. Бондаренко, Б. М. Методы проверки реле с помощью измерительного диагностического комплекса [Текст] / Б. М. Бондаренко // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х. : УкрДАЗТ. – 2009. – № 4. – С. 127–133;
10. Морозов, Г. Л. Віброшумова діагностика електромагнітного реле [Текст] / Г. Л. Морозов, А. П. Разгонов, Б. М. Бондаренко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – № 32. – Д. : ДНУЗТ. – С. 206–211.
11. Растринин, Л. Н. Метод коллективного распознавания [Текст] / Л. Н. Растринин, Р. Х. Эрнштейн. – М. : Энергоатомиздат, 1981.
12. Быков, Н. М. Методы и средства измерения и преобразования информации в системах машинного распознавания речи [Текст] : дис... канд. техн. наук / Н. М. Быков. – Винница, ВПИ, 1985. – 243 с.
13. Вуков, N. M. Development of effective strategy of pattern recognition [Text] / N. M. Вуков, I. V. Kuzmin, A. I. Yakovenko // Proceedings of SPIE. – 2001. – Vol. 4225. – Pp. 76–83.
14. Методы автоматического распознавания речи [Текст] / под ред. У. Ли. – М. : Мир. – 1983. – Т. 1. – 200 с.
15. Ковтун, В. В. Вибір інформативних ознак в задачі ідентифікації диктора [Текст] / В. В. Ковтун // МКІМ-2002. Міжнарод. конф. з індуктивного моделювання. Львів, 20–25 травня 2002 : праці в 4-х т. – Львів, ДНДІ, 2002. – Т. 1, ч. 2. – С. 280–287.
16. Алексеев, А. С. Количественный анализ систем признаков и методов идентификации / А. С. Алексеев, Е. Е. Федоров // Штучний інтелект. Інститут проблем искусственного интеллекта. – Донецк. – № 3. – 2005. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI_2005_3/Razde17/02_Alekseev_Fedorov.pdf
17. Рабинер, Л. Р. Цифровая обработка речевых сигналов [Текст] / Л. Р. Рабинер, Р. В. Шафер. – М. : Радио и связь, 1981. – 495 с.
18. Марпл-мл., С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложение [Текст] / С. Л. Марпл-мл. : [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1990.
19. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст] / пер. с англ. Б. Гоулд ; под ред. Ю. И. Александрова. – М. : Мир. – 1982. – 848 с.

Поступила в редколлегию 21.07.2011.
Принята к печати 26.07.2011.

ЛАГУТА В. В., КІЗЯКОВ В. Я.

ОЦІНКА СТАНУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ В СИСТЕМАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

У роботі розглядаються методи попереднього аналізу звукових сигналів для виділення стійких ознак класифікації станів реле, що застосовуються в системах залізничної автоматики. Запропоновано алгоритм опису звукового сигналу на основі цих ознак.

Ключові слова: періоди ремонту релейної апаратури; акустична діагностика електромагнітного реле; ознаки для розпізнавання; методи обробки акустичного сигналу

LAGUTA V. V., KHIZYAKOV V. Y.

ESTIMATION OF A CONDITION OF ELECTROMAGNETIC RELAYS A METHOD OF ACOUSTIC DIAGNOSTICS IN SYSTEMS OF RAILWAY AUTOMATICS

The paper deals with methods of preliminary analysis of sound signals to extract stable features in classifying the relay used in railway automation systems. The algorithm of the description of a sound signal on the basis of these attributes is offered.

Keywords: periods of repair relay equipment, acoustic diagnostics electromagnetic relay, signs of recognition, acoustic signal processing techniques