

ЛАГУТА В. В. – к.т.н., доцент (ДНУЖТ)
КИЗЯКОВ В. Я. – к.т.н., доцент (ДНУЖТ)

ВЫДЕЛЕНИЕ СУЩЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ПРИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ В СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Статью представил д.т.н., проф. Босов А. А.

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 параметров 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 реша-

ются 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, соответствующей шумовому или вибрационному процессу, сравнивается с предельным, который считается типичным для оборудования без дефекта [8, 17].

Формирование 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 и то же 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 акустиче-

ского сигнала и составляющие образующих звук. Как правило, обработку сигнала производят последовательно, анализируя сигнал на интервалах времени длительностью в 15-20 миллисекунд (мсек). 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, $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

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 $\omega_m = 2\pi \cdot \nu \cdot \Delta t$ – 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 устойчивые по отношению к особенностям 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 дискретизации составляет 20 микросекунд (мкс). Оцифрованный акустический сигнал сглаживается по формуле

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

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

- H_v - рассматриваемая частота сигнала в текущий момент времени. Определяется подсчетом максимумов, который определяется по условиям

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

где 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 $v = \{200, 300, 500, 700, 900, 1100, 1500, 2500\}$ 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 перечисленных 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. Ширина полосы частот для фильтрации сигнала берется равной 1/3 октавы. Не-

обходимо чтобы частотная полоса захватывала 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 получены 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. Измерительно-вычислительный комплекс для контроля и измерения параметров электромагнитных реле [Текст] / В. Я. Кизяков, А. Н. Байдуж // Совершенствование и повышение надежности железнодорожных систем автоматики, телемеханики и связи. Межвузовский сборник научных трудов. – 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. - 278-280 p.

7. Коллакот, Р. А. Диагностирование технического оборудования [Текст] / пер. с англ. / Р. А. Коллакот; под ред. Ю. Н. Мясникова. – Л.: Судостроение. -1980.

8. Контроль шума в промышленности [Текст] / под ред. Дж. Д. Вебба. Пер. с англ. – Л. Судостроение. -1981. - 312 с.

9. Бондаренко, Б. М. Методы проверки реле с помощью измерительного диагностического комплекса [Текст] / Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4. Харків: УкрДАЗТ – С. 127 – 133;

10. Морозов, Г. Л. Виброшумова 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. Растрин, Л. Н. Метод коллективного распознавания [Текст] / Растрин, Л. Н., Эренштейн, Р. Х. // - М.: Энергоатомиздат, 1981.

12. Быков, Н. М. Методы и средства измерения и преобразования информации в системах машинного распознавания речи

[Текст] //– Дис. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. – Винница, ВПИ, 1985. – 243 с.

13. Bykov, N. M. Development of effective strategy of pattern recognition [Text] / Bykov, N. M., Kuzmin, I. V., Yakovenko, A. I. // – Proceedings of SPIE, 2001, Vol. 4225, p. 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] // МКІМ – 2002. Міжнародна конференція 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. [Электронный ресурс]: Режим доступа: URL: http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI_2005_3/Razdel7/02_Alekseev_Fedorov.pdf

17. Рабинер, Л. Р. Цифровая обработка речевых сигналов [Текст] / Л. Р. Рабинер, Р. В. Шафер // - М.: Радио и связь. -1981. — 495с.

18. Марпл-мл., С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложение [Текст] //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.

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

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

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

Поступила в редколлегию 27.04.2011.

Принята к печати 28.04.2011.