

УДК 656.25:621.318

Б. М. Бондаренко, ассистент кафедры автоматки, телемеханики и связи Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна
В. В. Лагута, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматки, телемеханики и связи Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна
С. А. Разгонов, кандидат технических наук, директор Публичного акционерного общества “Коммуникационный фондовый центр”

АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ АППАРАТУРЫ

У статті розглядається один з варіантів контролю працездатності електромагнітної апаратури з використанням методу акустичної діагностики (ідентифікація шумових сигналів на основі використання щільності розподілу ймовірності випадкових шумових сигналів), пропонується алгоритм виділення інформаційних ознак акустичного сигналу об'єкта діагностування.

В статті розглядається один з варіантів контролю работоспособности електромагнітної апаратури з використанням методу акустическої діагностики (ідентифікація шумових сигналів на основі використання щільності розподілу ймовірности випадкових шумових сигналів), пропонується алгоритм виділення інформаційних ознак акустического сигналу об'єкта діагностики.

In the article one of variants control capacity relay apparatus railway automation is examined with the use method noise diagnostics (authentication of noise signals on the basis the use moments closeness distributing probability casual noise signals), is offered the algorithm of informative feature extraction of acoustic signal object diagnostics.

© **Б. М. Бондаренко, В. В. Лагута, С. А. Разгонов, 2012**

Ключевые слова. Акустические сигналы, контроль параметров, реле, штифт, якорь.

Введение. Эффективным методом предупреждения аварий, выявления неисправностей электромеханических узлов радиоэлектронной аппаратуры являются акустические методы [1]. Акустические методы диагностики могут использоваться для таких электромеханических устройств, как соленоиды, реле, контакторы, электродвигатели и др. В частности, кроме акустического шума, электромагнитные устройства генерируют электродинамический и электромагнитный шум, которые также могут быть использованы для их диагностики.

Диагностика элементов систем управления с помощью акустических сигналов позволяет повысить точность распознавания неисправностей. Важной задачей в решении этого вопроса является задача формирования признаков для проведения процедуры распознавания.

Вариантом к построению систем распознавания на основе акустического сигнала является использование в качестве элементов распознавания фонотипов, характеристики которых не зависят от источника звука. Одним из основных параметров, которые используются для разграничения фонотипов в акустическом сигнале, является его энергия [2, 3].

В этом случае показателем сигнала может быть место локализации максимумов энергии, ограниченных значительными, на 40–50 дБ, спадами энергии. Это общепринятый метод в обычной работе с акустическими сигналами. Но вполне возможно выделение по такому признаку и ошибочных фонем, что обуславливается вероятностным наличием сонарных звуков в регистрируемом акустическом сигнале [4, 5].

Современная вычислительная техника позволяет усовершенствовать технологию проверки параметров реле железнодорожной автоматики за счет автоматизации процессов измерения и использования программных средств диагностики.

Анализ шумовых сигналов и методов их идентификации. В качестве параметра для выделения признака необходимой фонемы можно использовать функцию “мощности” (“громкости”) как взвешенную сумму амплитуд анализируемого акустического сигнала по нескольким частотным каналам. Диапазоны частот этих каналов определяются предварительно по данным, наблюдаемым в экспериментах, подвергая испытанию функционально пригодные изделия и изделия, имеющие известную неисправность. Количество необходимых каналов также определяются исходя из опыта. Недостатком такого метода являются значительные затраты для производства аппаратных средств. Но вычисления в этом случае просты, их организация несложна. К слабым сторонам этого способа обычно относят недостаточную надёжность в некоторых особых случаях распознавания звука (смена диктора, диагностируемого устройства) [6].

В нашем случае такое событие маловероятно, поскольку испытанию подвергаются однотипные изделия.

Характерные шумовые сигналы электромагнитной аппаратуры имеют периодические и непериодические составляющие. Параметры шумовых сигналов изменяются со временем – у бездефектных устройств медленно, в оборудовании, что приближается к состоянию разрушения, очень быстро. Принято, что в пределах всего срока службы устройств его характерный шумовой сигнал является интервально-стационарным процессом при

условии, что интервалы наблюдений выбираются для каждого типа устройств, а сигналы рассматриваются как реализации случайного процесса с нормальным распределением.

Цель диагностики заключается в выявлении развития отказа ранее области наиболее интенсивного износа или разрушения. Поэтому необходимо иметь временную зависимость работы дефектных и бездефектных объектов контроля, а для обеспечения достоверных результатов применять статистические методы моделирования. В соответствии с вероятностным подходом все отклонения от нормы рассматриваются как случайные величины, а основным требованием является минимально допустимая вероятность отказа.

Постановка задачи. Новейшая технология профилактических работ на релейной аппаратуре должна включать тестовый контроль параметров электромагнитных реле и оптимизацию межремонтного периода. Эта проблема решается с применением устройства и способа для измерения и контроля параметров реле [7].

В данной статье обосновывается построение акустического канала диагностики электромагнитной аппаратуры.

Рассматривается принцип анализа шумового сигнала электромагнитного реле на примере изменения одного из механических параметров с применением параметрических и вероятностных критериев анализа динамики изменения звукового давления.

Акустическая диагностика релейной аппаратуры. Одной из наиболее информативных диагностических характеристик шумового сигнала является распределение вероятностей амплитуд звукового давления.

Характерные шумовые сигналы механизмов электромагнитной аппаратуры, как показывают эксперименты, имеют периодические и непериодические составляющие. Параметры шумовых сигналов изменяются со временем – у бездефектных устройств медленно, в оборудовании, что приближается к состоянию разрушения, – очень быстро. Поэтому можно считать, что в пределах всего срока службы устройства его характерный шумовой сигнал является интервально-стационарным процессом при условии, что интервалы наблюдений выбираются для конкретного этого объекта, а сигналы рассматриваются как реализации случайного процесса с нормальным распределением.

Рассмотрим один из вариантов контроля работоспособности релейной аппаратуры железнодорожной автоматики с использованием метода шумовой диагностики (идентификация шумовых сигналов на основе использования моментов плотности распределения вероятности случайных шумовых сигналов).

На рис. 1 представлена шумовая диаграмма работы реле 1 с фактическим движением якоря 2 после подачи тока в обмотку реле.

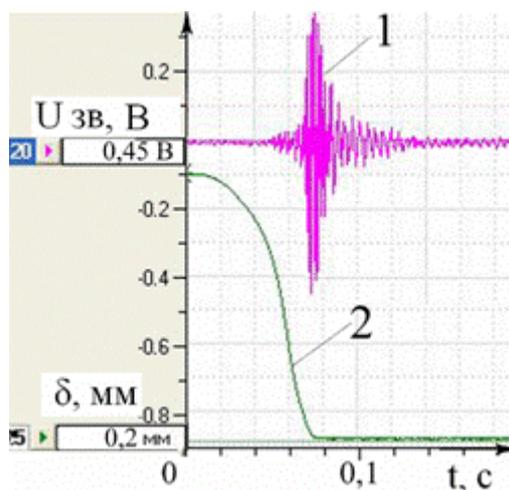


Рис. 1. Шумовая диаграмма 1 и движение якоря реле 2

Начало роста амплитуды шума совпадает с остановкой якоря реле во время его удара о полюсный наконечник реле и может использоваться для диагностики работы реле.

На рис. 2 представлены акустические характеристики (шумовые “портреты”) механических перемещений, что происходят во время включения внутри исправного блока реле типа НМШ 2-900 (рис. 2 а), при износе антимангнитного штифта (рис. 3 б) и при искусственно увеличенном антимангнитном штифте (рис. 2 в).

На диаграмме (рис. 2 б) видно, что амплитуда акустических колебаний при срабатывании реле больше (величина а). Это обусловлено большим свободным ходом и ускорением якоря перед ударом уменьшенного антимангнитного штифта о полюсный наконечник. Время к максимуму этой амплитуды от начала включения также больше (величина в). Это обусловлено большим расстоянием, которое проходит якорь к удару уменьшенного антимангнитного штифта о полюсный наконечник.

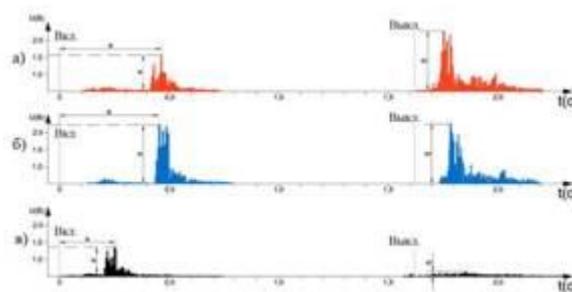


Рис. 2. Акустические диаграммы: а) исправного реле; б) при уменьшенном антимагнитном штифте; в) при увеличенном антимагнитном штифте

На диаграмме (рис. 2 б) видно, что амплитуда акустических колебаний при срабатывании реле меньше (величина а). Это обусловлено уменьшенным свободным ходом и меньшим ускорением якоря перед ударом увеличенного антимагнитного штифта о полюсный наконечник. Время до максимума этой амплитуды от начала включения меньше (величина в). Это обусловлено меньшим расстоянием, которое проходит якорь к удару увеличенного антимагнитного штифта о полюсный наконечник.

Исследования, проведенные с разной высотой антимагнитного штифта, показывают, что в этих случаях амплитудные показатели имеют более характерные различия, чем соответствующие временные показатели. Это обусловлено увеличением ускорения якоря перед его ударом о полюсный наконечник, при уменьшенной высоте штифта (и наоборот). Скорость якоря и энергия, с которой он ударяется о полюсный наконечник, также растут (или уменьшается), соответственно растет или уменьшается энергия акустической волны, что хорошо фиксирует микрофон.

Акустические диаграммы работы реле дополняют информацию для определения характера неисправности реле, полученную при измерении тока и физического зазора работающего реле.

Таким образом, шумовые портреты объекта, что диагностируется, должны сравниваться с эталонными записями возможных отклонений. Различие (сходство) можно успешно оценить с помощью приведенных выше параметрических или вероятностных критериев, а также других критериев и методов математической статистики и кластерного анализа [8].

Рассмотрим вариант случайного процесса возникновения акустических колебаний при уменьшенном антимагнитном штифте.

Из рис. 2 видно, что амплитуда статистического сигнала носит вероятностный характер в определенном временном интервале.

Представим описание этого случайного процесса в виде плотности распределения вероятности, где $A > 0$ – случайная величина, которая представлена $f(A, A_0, \sigma)$ десятичным логарифмом отношения, где U_0 – опорное

значение, $A = 20 \lg \frac{U_f}{U_0}$ – полученное значение шума.

В этом случае плотность вероятности может быть описана следующим равенством:

$$f(A, A_0, \sigma) = \begin{cases} 0 & \text{при } A \leq 0 \\ \frac{1}{M \sigma A \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(A - A_0)^2}{2\sigma^2}} & \text{при } A > 0 \end{cases} \quad (1)$$

при $A > 0$.

Равенство (1) является описанием плотности распределения случайной величины

$A = 20 \lg \frac{U_f}{U_0}$ (нормальное логарифмическое распределение).

Правомерность применения выражения (1) для описания случайного процесса (рис. 2 а) подтверждается методами математической статистики и оценки степени приближения статистического распределения случайной величины к теоретическому распределению.

Статистическая обработка случайных сигналов, полученных с помощью программного измерительного комплекса, позволяет определить плотность вероятности амплитуд шумовых сигналов при срабатывании реле.

Амплитуды шумового сигнала при уменьшенном антимагнитном штифте реле значительно больше амплитуд соответствующего сигнала нормального реле. Это обстоятельство используют для отбора реле для последующего ремонта и регулировки.

Шумовые сигналы носят случайный характер, поэтому представляют интерес получения таких характеристик, как плотность вероятности распределения шумовых сигналов.

Функция распределения $f(A, A_0, \sigma)$ будет иметь вид

$$f(A, A_0, \sigma) = \begin{cases} 0 & \text{при } A \leq 0; \\ \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-\frac{t^2}{2}} dt & \text{при } A > 0, \end{cases} \quad (2)$$

при $A > 0$,

$$U = \frac{I_g A - I_g A_0}{\sigma}$$

где

Процедуру отбраковывания ненадежных реле можно осуществлять с помощью программного комплекса путем сравнения средних значений амплитуд шумовых сигналов эталонного реле и того, что проверяется. Если среднее значение шумовых сигналов реле, что проверяется, больше аналогичной характеристики эталонного реле, то принимается решение отбраковывания первого с последующим анализом причин отклонения от нормы и соответствующей регулировки или ремонта.

Так, при проверке реле НМШ2-900 средняя амплитуда шумовых сигналов эталонного реле составила: $A_e = 0,47$ дБ, а неисправного реле – $A = 0,6$ дБ, что подтверждает необходимость его регулировки или ремонта. При этом надежность принятия решения составляет более 90 %.

При увеличенном антимагнитном штифте характер шумовых сигналов также представляет собой вероятностный процесс. Принятие решения об исправности реле в этом случае может быть осуществлено по выше рассмотренному критерию – сравнение средних значений амплитуд шумовых сигналов исправного и неисправного реле.

Основная энергия применяемого акустического сигнала сосредоточена в области средних частот 200–7000 Гц. Для анализа сигнала в инженерной практике используется два канала: первый канал с частотным диапазоном 200–500 Гц, второй – 1000–2500 Гц. Для первого канала характерно отсутствие фиктивных высокоэнергетических составляющих. Во втором диапазоне энергия полезных сигналов значительно (приблизительно в 2 раза) превышает энергию сонарных составляющих компонент сигнала. По сути диапазоны частот каналов выбирались так, чтобы “шумовых” составляющих (сигналов, не несущих полезную информацию) было по возможности меньше.

Алгоритм выделения признаков.

1. Регистрация акустического сигнала с помощью микрофона.

2. Фильтрация сигнала двумя полосовыми фильтрами в диапазонах частот 200–500 Гц и 1000–2500 Гц.

3. Фильтрация сигнала в диапазонах частот 200–500 Гц и 1000–2500 Гц от шумов малой энергии (“белый” шум).

шум).

4. Для каждого канала определяем наибольшие значения амплитуд A_{max}^1 – первый канал и A_{max}^2 – второй канал.

5. Определяем “мощность” распознаваемого сигнала

$$A = A_{max}^1 + A_{max}^2$$

6. A – сформированный признак.

7. Анализируется интервал принадлежности сформированного признака и распознается (классифицируется) неисправность

– изделие исправно;

– “неисправность 1-го” вида;

– “неисправность 2-го” вида;

– “неисправность n -го” вида.

$$a_{01} < A < a_{02}$$

$$a_{11} < A < a_{12}$$

$$a_{21} < A < a_{22}$$

...

$$a_{n1} < A < a_{n2}$$

– в другом случае состояние элемента неопределенно, необходимо провести иные способы диагностики.

8. Конец алгоритма.

Алгоритм может быть реализован полностью аппаратно на основе микроконтроллера без применения дорогой вычислительной техники типа ПЭВМ.

Приведенный алгоритм применяется для контроля релейных элементов. В качестве состояния реле принята соответствующая величина зазора в реле между якорем и полюсным наконечником. Построено множество интегралов $\{[a_{i1}, a_{i2}]\}_{i=0, n}$ для осуществления акустической диагностики. Повышение более высокой надёжности распознаваемости достигается увеличением количества анализируемых каналов, например до трёх или четырёх, как для рассматриваемого диапазона частот, так и введя новые.

Преимущество применения акустического контроля состояний элементов в системах управления железнодорожного транспорта состоит в том, что процесс диагностики может происходить в реальном масштабе времени без вмешательства в работу системы. Данные о состояниях элементов заносятся в базу наблюдений для дальнейшего более детального анализа. Прежде всего данные о состояниях элементов необходимы для улучшения системы содержания элементов автоматики. Проблема состоит лишь в том что, как правило, телеметрические системы реального времени дороги обходятся как в разработке, так и в дальнейшем их сопровождении. Преимущество введения таких систем, в частности на железнодорожном транспорте, очевидно,

поскольку вопросы безопасности движения всегда актуальны.

Выводы. Диагностику неисправностей реле в системах автоматики по акустическому сигналу можно осуществить с помощью его амплитудно-частотной характеристики в диапазонах частот 200–500 Гц и 1000–2500 Гц.

В качестве признака “неисправности” можно взять сумму максимальных амплитуд сигнала в каждом канале.

Повышение надёжности классификации неисправностей достигается увеличением числа каналов как в распознаваемых диапазонах частот, так и во введённых дополнительно.

Акустическая диагностика электромагнитной аппаратуры является надёжным способом диагностики коммутационных средств радиоэлектронной аппаратуры.

Для наименьших искажений при превращении звуковых колебаний в электрический сигнал целесообразно расположить микрофоны в непосредственной близости от объекта диагностики. В качестве микрофонов оптимальными за простотой, качеством сигнала и стоимостью является применение электростатических микрофонов.

Акустическую диагностику по шумовым сигналам необходимо применять в комплексе с микрофонами и цифровыми преобразователями, а также микроконтроллерами или компьютером с соответствующим программным обеспечением для управления и статистической обработки сигналов. В рассмотренном методе акустическая диагностика может использоваться совместно с другими неконтактными методами диагностики и дополнять информацию о состоянии объекта.

Литература

1. Коллакот Р. А. Диагностирование технического оборудования / Коллакот Р. А. / пер. с англ. ; под ред. Ю. Н. Мясникова. – Л. : Судостроение, 1980.
2. Джелинек Ф. Разработка экспериментального устройства, распознающего раздельно произносимые слова : тр. Ин-та инженеров по электронике и радиоэлектронике : пер. с англ. – 1985. – Т. 73. – № 11. – С. 91–100.
3. Биков М. М. Методи підвищення дикторонезалежності опису і розпізнавання мовної інформації в мережі INTERNET / М. М. Биков, Т. В. Гришук // “Интернет – Освіта – Наука – 2002” : збірник матеріалів III міжнародної конференції ІОН – 2002, 8 – 12 жовтня 2002 р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2002. – Т. 2. – С. 329–332.
4. Методы автоматического распознавания речи / под ред. У. Ли. – М. : Мир, 1983. – Т. 1. – 200 с.
5. Ruske C. An approach to speech recognition using syllabic decision units / C. Ruske, T. Scholtola. – Proc. 1978, IEEE ICASSP, Tulsa, 1978. – N. Y., 1978, pp. 772–725.
6. Патент № 70568 Україна, 25.04.2007 р., бюл. № 5 “Пристрій для вимірювання переміщення якоря електромагнітного реле” / Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А.
7. Классификация и кластер / под ред. Дж. Вэн Райзин : пер. с англ. под ред. Ю. И. Журавлева. – М. : Мир, 1980.