Таким образом, можно заключить, что «упрощённую полосовую» модель целесообразно применять в дальнейшем при приближённых измерениях ЧХ только с соотношением $N>>2n0$. При более жёстких требованиях к точности измерений (до 3–5 %) предпочтительнее применение «уточнённых полосовых» моделей.

Техническая реализация описанного выше метода и методов генерации РАП [1,5] позволит усовершенствовать выполнение операций измерения и контроля ЧХ в области ИНЧ-узлов радиотехнической аппаратуры в процессе их разработки и изготовления, узлов и блоков систем управления объектами и технологическими процессами, узлов телекоммуникационных и радиотехнических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фролов С.С., Шевеленко В.Д., Бурькова Е.В.* Метод аппроксимации равноамплитудных полиномов // Вестник ОГУ. –2006. – №5.
2. Прибор для исследования амплитудно-частотных характеристик Х1-41: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1982.
3. *Фролов С.С.* Способы реализации равноамплитудных полиномов // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике: Материалы всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург, 2004. – С.166–175.
4. *Двайт Г.Б.* Таблицы интегралов и другие математические формулы: Пер. с англ. Н.В. Леви / Под ред. К.А. Семендяева. – М.: Наука, 1977. – 244 с.
5. *Фролов С.С.* Генерация функции вида специального вида // Энергосбережение, электрооборудование, электроника: Материалы всероссийской научно-технической конференции. – Оренбург, 2005. – С.96–99.
6. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов по специальности «Радиотехника». – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.

С.С. Сероштанов, О.В.Гателюк

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Одним из путей повышения надежности технических средств, обеспечивающих безопасность движения поездов, является внедрение устройств непрерывного контроля за их состоянием. Системы диагностики и телеконтроля позволяют уменьшить количество отказов в устройствах сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) за счет прогнозирования предотказных состояний, ускорить поиск отказавшего элемента, свести к минимуму время нахождения технического персонала в опасных зонах железнодорожного транспорта, а также создать базу для перехода от системы планового обслуживания к предупредительно-восстановительной системе [1]. На современном этапе развития систем автоблокировки (АБ) широкое распространение получила система АБ с тональными рельсовыми цепями (ТРЦ).

Использование сигнального тока тональной частоты позволило повысить защищенность от воздействия помех тягового тока, практически на порядок снизить потребляемую мощность, применить современную элементную базу, осуществить централизованное размещение аппаратуры, исключить взаимные влияния между рельсовыми цепями и т.д. [2,3]. К достоинствам следует отнести также возможность исключения малонадежных в эксплуатации изолированных стыков [4].

Как показывает практика, системы АБ с ТРЦ также имеют недостатки. На основании имеющейся информации об опыте эксплуатации ТРЦ на Красноярской ж.д. основная доля неисправностей приходится на рельсовые цепи, кабельную линию, а также неисправности, причины которых не установлены.

Традиционная методика расчета, использующая законы перемножения матриц, имеет существенные недостатки[5]:

– не позволяет целиком обозреть область изменений параметров РЦ для данного режима работы;

– не решает вопроса об области погрешностей значений вычисляемых параметров при известной погрешности измерений критических значений;

– не имеет геометрической наглядности полученных результатов.

Автором предлагается использование более удобного математического аппарата, эквивалентного старому матричному, но свободного от вышеупомянутых недостатков – аппарат конформных отображений, для анализа тональных рельсовых цепей. Ранее методика его применения была изучена С.В. Власенко и О.В. Гателюком для фазочувствительных рельсовых цепей [6,7].

В теории функции комплексного переменного доказывается, что дробно-линейные преобразования [8] сохраняет известное в проективной геометрии [9] так называемое ангармоническое отношение четырёх точек на плоскости:

$$\frac{W-W_3}{W-W_4}\cdot\frac{W_2-W_4}{W_2-W_3}=\frac{Z-Z_3}{Z-Z_4}\cdot\frac{Z_2-Z_4}{Z_2-Z_3}, \tag{1}$$

где W_1, W_2, W_3 – соответственно измеренные значения входного сопротивления РЦ,

Z_1, Z_2, Z_3 – калибровочные сопротивления нагрузки, подключаемые к выходу РЦ;

W, Z – текущее значение входного и выходного сопротивления РЦ соответственно.

Вместе с тем, входное сопротивление четырехполюсника определяется формулой

$$W=\frac{AZ+B}{CZ+D}. \tag{2}$$

Исходя из формул (1), (2) при условии, что коэффициенты РЦ удовлетворяют соотношению

$$AD-BC=1 \tag{3}$$

получаем следующие выражения:

$$A=\frac{W_3\cdot W_2(Z_3-Z_2)+W_3\cdot W_4(Z_4-Z_3)+W_4\cdot W_2(Z_2-Z_4)}{\Delta}, \tag{4}$$

$$B=\frac{W_3\cdot W_4\cdot Z_2(Z_3-Z_4)+W_3\cdot W_2\cdot Z_4(Z_3-Z_2)+W_4\cdot W_3\cdot Z_3(Z_4-Z_2)}{\Delta}, \tag{5}$$

$$C=\frac{W_2(Z_3-Z_4)+W_3(Z_4-Z_2)+W_4(Z_2-Z_3)}{\Delta}, \tag{6}$$

$$D=\frac{W_2\cdot Z_2(Z_4-Z_2)+W_3\cdot Z_3(Z_2-Z_4)+W_4\cdot Z_4(Z_3-Z_2)}{\Delta}, \tag{7}$$

где $\Delta = \sqrt{(Z_1 - Z_2)(Z_1 - Z_3)(Z_2 - Z_3)(W_1 - W_2)(W_1 - W_3)(W_2 - W_3)}$.

Очевидно, что при выполнении измерений появляются систематические и случайные погрешности. Для уменьшения случайной ошибки принято проводить дополнительные измерения параметров четырехполюсника при одинаковых значениях выходной нагрузки. В этом случае из серии измеренных значений Н1, Н2 ... Нm находят среднее арифметическое, которое считается наиболее вероятным значением искомой величины

$$H_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{m} H_i}{m}. \tag{8}$$

Для уменьшения ошибки предлагается применить другой метод, основанный на определении по специальным формулам уточненных параметров четырехполюсника за счет измерений при дополнительных (превышающих необходимое число два 2 симметричных и 3 для несимметричных четырехполюсников) значениях выходной нагрузки.

Рассмотрим применение этого метода для определения параметров симметричной рельсовой линии. Пусть W – неизвестное точное значение входного сопротивления четырехполюсника, а W^* – измеренное с некоторой погрешностью. Для получения наиболее точных параметров четырехполюсника необходимо, чтобы абсолютная погрешность в евклидовой метрике [8], определяемая разницей между W и W^*, была, как можно меньше, а для серии из n измерений – в соответствии с методом наименьших квадратов:

$$\sum_{i=1}^{n} \left| W_i - W_i^* \right|^2 \to min. \tag{9}$$

Заметим, что рельсовая линия является пассивным четырехполюсником, следовательно, должно выполняться равенство (3). Рассмотрим выражения (2). Поделив числитель на знаменатель, получим

$$W = \frac{A}{C} - \frac{1}{(C \cdot Z + D) \cdot C}. \tag{10}$$

Для симметричного четырехполюсника параметры A и D будут равны. Формулу (10) можно представить в виде [7]

$$W_i = E - \frac{F}{Z_i + E}, \tag{11}$$

где Z_i – сопротивление на выходном конце, а комплексные коэффициенты F и E связаны с параметрами A, B, C и D четырехполюсника соотношениями

$$F = \frac{1}{C^2}; E = \frac{A}{C}. \tag{12}$$

Отделив действительные части комплексных величин от мнимых, получим

$$W_i = w_i + j\widetilde{w}_i = e - R_i[f(z_i + e) + \widetilde{f}(\widetilde{z}_i + \widetilde{e})] + j\{\widetilde{e} + R_i[f(\widetilde{z}_i + \widetilde{e}) - \widetilde{f}(z_i + e)]\}, \tag{13}$$

где $R_i = \dfrac{1}{(z_i + e)^2 + (\widetilde{z}_i + \widetilde{e})^2}$;

w_i, z_i, f, e – действительные части комплексных величин W_i, Z_i, F, E;

$\widetilde{w}_i, \widetilde{z}_i, \widetilde{f}, \widetilde{e}$ – их мнимые составляющие.

В соответствии с формулами (9) и (13) запишем

$$\Phi(e,\widetilde{e},f,\widetilde{f}) = \sum_{i=1}^{n}\left\{e - R_i[f(z_i+e)+\widetilde{f}(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})] - w_i^*\right\}^2 + \\ + \left\{\widetilde{e} + R_i[f(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})+\widetilde{f}(z_i+e)]\right\}^2 \to min. \tag{14}$$

Для выполнения условия (14) необходимо, чтобы частные производные функции Φ по всем переменным равнялись нулю, т.е.

$$\frac{\partial\Phi}{\partial e} = \sum_{i=1}^{n} 2\left\{e - R_i[f(z_i+e)+\widetilde{f}(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})] - w_i^*\right\}\left\{1 - \frac{\partial R_i}{\partial e}\left[f(z_i+e)+\widetilde{f}(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})\right] - R_i f\right\} + \\ + \sum_{i=1}^{n} 2\left\{\widetilde{e} + R_i[f(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})-\widetilde{f}(z_i+e)] - \widetilde{w}_i^*\right\}\left\{\frac{\partial R_i}{\partial e}\left[f(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})-\widetilde{f}(z_i+e)\right] - R_i f\right\} = 0; \tag{15}$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial \widetilde{e}} = \sum_{i=1}^{n} 2\left\{e - R_i[f(z_i+e)+\widetilde{f}(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})] - w_i^*\right\}\left\{\frac{\partial R_i}{\partial \widetilde{e}}\left[f(z_i+e)+\widetilde{f}(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})\right] - R_i \widetilde{f}\right\} + \\ + \sum_{i=1}^{n} 2\left\{\widetilde{e} + R_i[f(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})-\widetilde{f}(z_i+e)] - \widetilde{w}_i^*\right\}\left\{\frac{\partial R_i}{\partial \widetilde{e}}\left[f(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})-\widetilde{f}(z_i+e)\right] + R_i f\right\} = 0; \tag{16}$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial f} = \sum_{i=1}^{n} -2\left\{e - R_i[f(z_i+e)+\widetilde{f}(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})] - w_i^*\right\}R_i(z_i+e) + \\ + \sum_{i=1}^{n} 2\left\{\widetilde{e} + R_i[f(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})-\widetilde{f}(z_i+e)] - \widetilde{w}_i^*\right\}R_i(\widetilde{z}_i+\widetilde{e}) = 0; \tag{17}$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial \widetilde{f}} = \sum_{i=1}^{n} -2\left\{e - R_i[f(z_i+e)+\widetilde{f}(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})] - w_i^*\right\}R_i(\widetilde{z}_i+\widetilde{e}) + \\ + \sum_{i=1}^{n} 2\left\{\widetilde{e} + R_i[f(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})-\widetilde{f}(z_i+e)] - \widetilde{w}_i^*\right\}R_i(z_i+e) = 0, \tag{18}$$

где $\dfrac{\partial R_i}{\partial e} = \dfrac{-2(z_i+e)}{\left[(z_i+e)^2+(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})^2\right]^2}$, $\dfrac{\partial R_i}{\partial \widetilde{e}} = \dfrac{-2(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})}{\left[(z_i+e)^2+(\widetilde{z}_i+\widetilde{e})^2\right]^2}$.

Система уравнений (15) – (18) позволяет установить уточненные параметры симметричного четырехполюсника по результатам любого числа n дополнительных измерений входного сопротивления при различных значениях выходной нагрузки.

Другой способ уточнения параметров рельсового четырехполюсника основан на том, чтобы абсолютная погрешность метрики, определяемая разницей между W и W^*, была как можно меньше не в евклидовой, а в метрике сферы Римана [8] для серии из n измерений – в соответствии с методом наименьших квадратов. Расстояние в метрике сферы Римана выражается следующей формулой:

$$\rho(z_1,z_2) = \frac{|z_2 - z_1|}{\sqrt{1+|z_1|^2}\cdot\sqrt{1+|z_2|^2}}. \tag{19}$$

Аналогично формулу (13) можно записать

$$\sum_{i=1}^{n}\rho(W_i,W_i^*) \to min. \tag{20}$$

Представленные выше положения были подтверждены экспериментально. Предложенный метод существенно уточняет параметры рельсовой линии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гоман Е.А., Сепетый А.А.* Интеграция средств автоматизации диагностирования с современными системами ЖАТ. Автоматика, связь, информатика.–2002. –№ 11. – С.13–17.
2. *Петров А.Ф.* Универсальные рельсовые цепи // Автоматика, телемеханика и связь. 1996. – №3. – С. 27–32.
3. *Дмитриев В.С.* Рельсовые цепи тональной частоты / В.С Дмитриев, В.А. Воронин // Автоматика, телемеханика и связь 1996. – № 5. – С. 27–30.
4. *Гателюк О.В., Смирнов М.В., Ходкевич А.Г., Яценко Е.Н.* Использование математической модели для диагностики тональной рельсовой цепи // Межвузовский тематический сборник научных трудов. Омск, 2002.
5. *Аркатов В.С., Кравцов Ю.А., Степенский Б.М.* Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Траспорт, 1990. – 295 с.
6. *Власенко С.В., Гателюк О.В.* Четырехполюсники и группа PSL (C)// Второй Сибирский конгресс по прикладной и индустриальной математике (ИНПРИМ-96). Новосибирск, 1996.
7. *Власенко С.В., Гателюк О.В.* Реализуемые четырехполюсники и расчет рельсовых цепей // Математика в вузе: Труды международной науч. метод. конф. Кострома, 1996.
8. *Шабат Б.В.* Введение в комплексный анализ. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
9. *Четверухин Н.Ф.* Проективная геометрия. – М.: Наука, 1953.

В.И. Ворончак, В.А. Тененев

МЕТОДЫ НЕЧЕТКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Продуктивные пласты нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений характеризуются пористостью, проницаемостью, насыщенностью нефтью, газом и водой. Для подсчета величины запаса нефти в залежи необходимо знать изменение характеристик пласта (k_p, k_{ng} – коэффициенты открытой пористости и нефтегазонасыщенности) по высоте скважины z. Характеристики пластов необходимо определить через показания геофизических методов [1].

Одна из задач интерпретации геофизических исследований скважин заключается в определении границ пластов-коллекторов, что требует поточечного анализа. Для систем нечеткого вывода [2] большое количество точек (2 – 3 тысячи) является значительным препятствием при обучении. Хотя нейросетевые методы требуют меньших затраты времени, все равно обучение сети является продолжительным. Данную задачу можно решать с использованием метода деревьев решения [3]. Рассматриваются несколько геофизических методов: 1. БК – метод, основаный на измерении зондом электрического сопротивления пласта. 2. Акустический метод – измерение интервального времени пробега DT продольной звуковой волны. 3. Гамма-метод заключается в регистрации кривой изменения интенсивности естественного гамма-излучения пород в разрезе скважины при перемещении в ней радиометра. 4. Нейтронный гамма-метод основан на измерении поглощения и рассеяния нейтронов. 5. Метод кавернометрии заключатся в измерении фактического диаметра необсаженной скважины DC.