

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.372.5

Д. Д. МЕДВЕДЕВ, магистр, С. И. ХОМЕНКО, И. О. ЖИГАЛИН, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЖАТС С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Рассмотрены особенности измерений первичных параметров четырехполосников с нелинейными ферромагнитными элементами. Выполнен анализ существующих методов измерения активно-реактивных компонентов устройств ЖАТС. Разработана методика определения коэффициентов четырехполосников и их проверки для минимизации погрешностей рассчитываемой модели элементов устройств ЖАТС.

Безопасность и надежность автоматизированных систем управления движением поездов в значительной мере зависит от элементов контроля свободности путевых участков. В качестве таких элементов контроля наиболее широко применяются рельсовые цепи. Также с помощью рельсовых цепей организуется телемеханический канал для передачи сигналов автоматической локомотивной сигнализации (АЛС).

В настоящее время всё чаще применяются тональные рельсовые цепи (ТРЦ), в которых несущие частоты сигналов контроля рельсовой линии находятся в диапазоне от 420 до 5555 Гц. Использование сигнального тока тонального диапазона позволяет ослабить взаимные влияния между рельсовыми цепями, повысить помехоустойчивость к сети тягового тока подвижного состава, использовать централизованное размещение аппаратуры, исключить изолирующие стыки.

Расчет рельсовой цепи в каждом из режимов ее работы выполняется с использованием схем замещения ее составных частей. Традиционными методами расчета РЦ являются методы, использующие теорию четырехполосников. Как правило, рельсовая линия и другие элементы РЦ заменяются четырехполосниками [1].

При этом определяются параметры четырехполосника каждого элемента, а затем параметры общего четырехполосника всей РЦ. После определения параметров общего четырехполосника устанавливается связь между входными и выходными сигналами рельсовой цепи. Такая методика позволяет выполнить расчет РЦ в установленном режиме на фиксированной частоте.

При использовании данной методики, для выполнения расчета необходимо определить коэффициенты четырехполосников элементов рельсовой цепи. В случае обратимого четырехполосника для граничных нагрузок (холостой ход и короткое замыкание) справедливы равенства [1]:

$$A = \frac{Z_{1xx}}{\sqrt{Z_{2xx}(Z_{1xx} - Z_{1кз})}}; B = \frac{Z_{1кз}Z_{2xx}}{\sqrt{Z_{2xx}(Z_{1xx} - Z_{1кз})}};$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{Z_{2xx}(Z_{1xx} - Z_{1кз})}}; D = \frac{Z_{2xx}}{\sqrt{Z_{2xx}(Z_{1xx} - Z_{1кз})}},$$

где Z_{1xx} – сопротивления холостого хода со стороны входных зажимов при разомкнутых соответственно выходных зажимах; Z_{2xx} – сопротивления холостого хода со стороны выходных зажимов при разомкнутых

соответственно входных зажимах; $Z_{1кз}$ – сопротивления короткого замыкания со стороны входных зажимов при коротком замыкании выходных; $Z_{2кз}$ – сопротивления короткого замыкания со стороны выходных зажимов при коротком замыкании входных.

Таким образом, для определения параметров четырехполосника необходимо произвести измерения его входного сопротивления при холостом ходе или коротком замыкании на его выходе.

Для измерения входного сопротивления можно воспользоваться различными методами.

Метод прямого измерения посредством амперметра, вольтметра и ваттметра достаточно сложно реализовать по причине высокой погрешности ваттметра в необходимых режимах измерений.

Для измерения $Z_{вх}$ возможно применение специализированных приборов – измерителей иммитанса (измерители RLC). Современные измерители RLC выполняются на основе аппаратно-программного логометра или автоматических уравновешивающихся измерительных мостов. Диаграмма, поясняющая метод измерения с помощью измерителя иммитанса, представлена на рисунке 1. Измерение отношения напряжений зажимах (токовом и напряжения) осуществляется аппаратно-программным логометром. Измерительный преобразователь формирует два напряжения, одно из которых (U_T) пропорционально току ($I_T = U_T / R_m$), протекающему через измеряемый объект, другое (U_H) – напряжению на нем. Отношение этих напряжений равно комплексному сопротивлению (Z) объекта. Проекция векторов (см. рисунок 1) U_T , U_H на опорное напряжение $U_{оп}$ и $jU_{оп}$ (отрезки A , C , B и D) выделяются и измеряются в некотором произвольном масштабе измерителем интегрирующего типа.

Очевидны соотношения

$$Z = R + jX = \frac{U_H}{I_T} = \frac{A + jB}{C + jD}, \quad (1)$$

где R – активное сопротивление; X – реактивное сопротивление.

Из (1) следует

$$R = \frac{AC + BD}{C^2 + D^2} \quad (2)$$

и

$$X = \frac{BC - AD}{C^2 + D^2}. \quad (3)$$

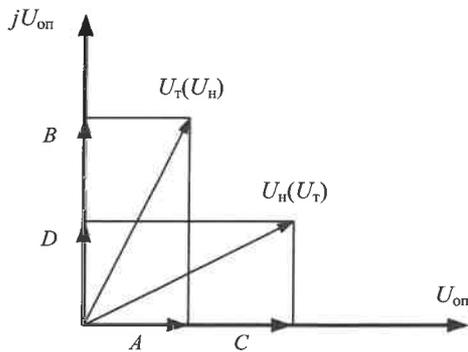


Рисунок 1 – Метод измерения измерителя иммитанса

При измерении параметров элементов, содержащих ферромагнитный сердечник, образуется значительная погрешность измерения. Данная погрешность обусловлена существенным искажением формы тока, протекающего по обмотке при перемагничивании магнитопровода индуктивности. Данное искажение характерно при измерении в режиме холостого хода. Таким образом для данного режима получить приемлемую точность измерения затруднительно.

Также одним из методов измерений, который наиболее просто реализовать, является метод трех вольтметров.

Достоинством метода является эксплуатационная простота и удобство, заключающееся в том, что для определения параметров измеряемого сопротивления достаточно всего лишь определить напряжения на трех участках электрической цепи, состоящей из приемника электрической энергии (изменяемого сопротивления) с последовательно включенным образцовым активным сопротивлением.

На рисунке 2, а представлена эквивалентная схема измерительной цепи для определения составляющих индуктивного импеданса методом трёх вольтметров и её векторная диаграмма (рисунок 2, б), где E – напряжение генератора гармонических колебаний; R_0 – образцовое сопротивление; L, r – индуктивность и активное сопротивление измеряемого импеданса Z_x ; U_0, U_x – падения напряжения на образцовом сопротивлении и измеряемом импедансе; U_L, U_r – реактивная и активная составляющие напряжения U_x ; I – ток в измерительной цепи.

Импедансы измеряемой индуктивности Z_x и измерительной цепи Z имеют вид

$$Z_x = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}, \quad Z = \sqrt{(R_0 + r)^2 + \omega^2 L^2}, \quad (4)$$

где ω – частота колебаний гармонического генератора E .

Для последовательной цепи значения импедансов можно представить как

$$Z_x = R_0 U_x / U_0, \quad Z = R_0 E / U_0. \quad (5)$$

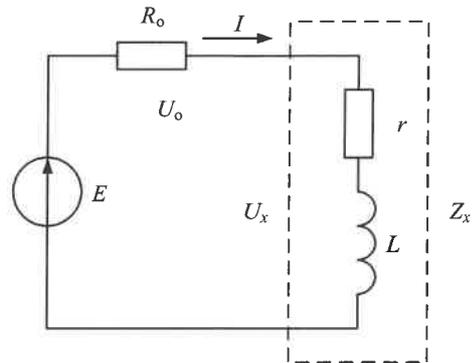
Из (4), (5) следует система уравнений

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2} &= R_0 U_x / U_0 \\ \sqrt{(R_0 + r)^2 + \omega^2 L^2} &= R_0 E / U_0 \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

решение которой позволяет получить выражения для активной составляющей индуктивного импеданса и его индуктивности

$$r = \frac{R_0}{2} \left(\frac{E^2 - U_x^2}{U_0^2} - 1 \right), \quad L = \frac{R_0}{\omega} \sqrt{\frac{U_x^2}{U_0^2} - \frac{1}{4} \left(\frac{E^2 - U_x^2}{U_0^2} - 1 \right)^2}. \quad (7)$$

а)



б)

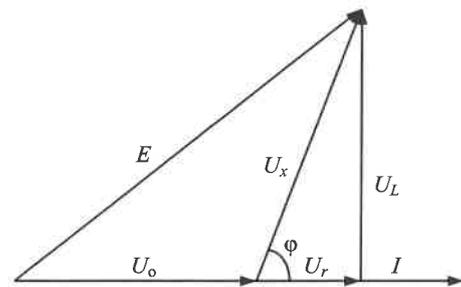


Рисунок 2 – Измерительная цепь для метода трёх вольтметров (а) и её векторная диаграмма напряжений и тока (б)

Для определения коэффициентов четырехполосника нам необходимо значение

$$Z_{xx} = Z_x \cdot e^{j\varphi},$$

где Z_x – модуль сопротивления по формуле (5);

$\varphi = \arccos \left(\frac{E^2 - U_x^2 - U_0^2}{2U_x U_0} \right)$ – аргумент сопротивления Z_x .

К недостаткам данного метода можно отнести низкую точность определения фазового угла. Точность измерения фазового угла при данном способе измерения зависит от значения измеряемого угла:

$$\delta_\varphi = \frac{(1 + \cos \varphi) \sqrt{6}}{\varphi \sin \varphi} \delta U. \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, что погрешность измерения δ_φ с уменьшением угла сдвига фаз φ увеличивается (рисунок 3). Как видно из графика на рисунке 3, измерение фазового угла методом трёх вольтметров непригодно для небольших его значений – до 60° [3].

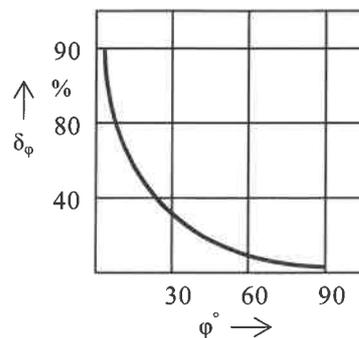


Рисунок 3 – График погрешности при измерении фазы

При измерении параметров индуктивностей в режиме холостого хода угол находится в области малых погрешностей, а в режиме короткого замыкания уменьшается значение угла и погрешность его определения значительно возрастает.

Кроме этого, как недостаток данного метода следует отметить, что в режиме короткого замыкания измерительный генератор работает на очень малую нагрузку. Это вызывает сложность при выборе генератора из-за нестабильности параметров выходного сигнала (частоты и амплитуды) при его использовании.

Поэтому при определении параметров четырехполосника оптимально использовать метод трех вольтметров для определения Z_{xx} и измеритель иммитанса для определения $Z_{кз}$.

Проведенные таким образом измерения позволяют с приемлемой точностью определить параметры четырехполосников элементов, содержащих ферромагнитные компоненты.

Так, для трансформатора ПОС2-50, применяемого в тональных рельсовых цепях при использовании предложенной методики, определены параметры четырехполосника для частоты 780 Гц. На рисунке 4 представлена схема для последующей проверки правильности определения параметров четырехполосника.

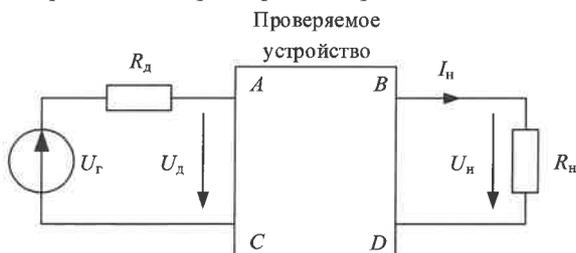


Рисунок 4 – Схема проверки параметров четырехполосника

Проведение измерений в соответствии со схемой дает возможность проверить правильность определения коэффициентов четырехполосника. Так, параметры нагрузки (сопротивление R_n и напряжение на нагрузке) и их связь с входным напряжением четырехполосника позволяют оценить правильность вычисления коэффициентов A и B , а их связь с напряжением генератора (U_Γ) – правильность рассчитанного коэффициента C .

$$\left. \begin{aligned} U_d &= AU_n + B \frac{U_n}{R_n} \\ I_n &= CU_n + D \frac{U_n}{R_n} \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} U_\Gamma &= (A + R_d C)U_n + (B + R_d D) \frac{U_n}{R_n} \\ I_\Gamma &= CU_n + D \frac{U_n}{R_n} \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Получено 03.02.2023

D. D. Medvedev, S. I. Homenko, I. O. Zhigalin. Determination of the parameters of the four-pole with ferromagnetic components in a RATC.

The features of measuring the parameters of four-pole devices with nonlinear ferromagnetic elements are considered. The analysis of existing methods for measuring active-reactive components of railroad automation, telemechanics and communication devices is carried out. The method for determining the coefficients of four-poles and their verification to minimize the errors of the calculated model of the elements of railroad automation, telemechanics and communication have been developed.

В таблицу 1 сведены результаты расчета в соответствии с (9) и (10) и измерения напряжений в соответствии с рисунком 4.

Таблица 1 – Проверка правильности определения коэффициентов четырехполосника

Сопротивление нагрузки, Ом	Добавочное сопротивление, Ом	Напряжение на выходе четырехполосника U_n , В	Напряжение генератора U_Γ , В		Напряжение на входе четырехполосника U_d , В	
			рассчитанное	измеренное	рассчитанное	измеренное
10000	5000	0,037	2,63	2,65	1,56	1,58
100	5000	0,030	2,14	2,19	1,25	1,27
1	5000	0,026	4,80	4,79	1,10	1,08

Как видно из таблицы 1, погрешность расчетов не превышает трех процентов, что позволяет использовать полученные данные при составлении регулировочных таблиц ГРЦ.

Комбинация различных методов измерения позволяет использовать преимущества и устранить недостатки отдельных методов измерений. Предлагаемая методика позволяет осуществлять измерения первичных параметров четырехполосников с помощью широко распространенных измерительных приборов. При этом измерения осуществляются в некритических режимах работы приборов, что существенно снижает погрешность измерений.

Предложенная схема проверки параметров четырехполосников позволяет оценить корректность параметров математической модели измеряемого элемента.

Список литературы

- 1 **Аркатов, В. С.** Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.
- 2 Рельсовые цепи магистральных железных дорог : справ. / В. С. Аркатов [и др.]. – 3-е изд. – М. : Транспорт, 2006. – 496 с.
- 3 **Дмитриенко, И. Е.** Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте / И. Е. Дмитриенко, А. А. Устинский, В. И. Цыганков. – М. : Транспорт, 1982. – 312 с.
- 4 **Гончаров, К. В.** Исследование переходных процессов в тональных рельсовых цепях / К. В. Гончаров // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2013. – Вип. 4. – С. 8–17.