

142

**МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР**  
**МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА**  
**И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ**  
**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

---

**Кафедра автоматики и телемеханики**  
**на железнодорожном транспорте**

**В. М. ЛИСЕНКОВ, А. А. ТИХОНЕНКОВ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ**  
**ЛИНИИ СВЯЗИ**

**Методические указания**  
**к учебно-исследовательской лабораторной работе**

**по дисциплине**

**«ТЕОРИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**  
**ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ»**

**Москва — 1985**

142

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР  
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

Кафедра автоматики и телемеханики  
на железнодорожном транспорте

В. М. ЛИСЕНКОВ, А. А. ТИХОНЕНКОВ

Утверждено  
редакционно-издательским  
советом института

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ЛИНИЙ СВЯЗИ

Методические указания  
к учебно-исследовательской лабораторной работе

по дисциплине

«ТЕОРИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ»

для студентов специальности -  
«АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»

Москва — 1985

**Виктор Михайлович Лисенков, Александр Александрович Тихоненков**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ СВЯЗИ**

Методические указания к учебно-исследовательской работе

**Редактор Т. Н. Тихомирова**  
**Техн. редактор Н. Н. Васильева**  
**Корректор Г. М. Пастушкова**

**Цель работы** — экспериментальное исследование частотных зависимостей параметров проводных линий связи.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Изучить метод экспериментального исследования параметров проводных линий связи.
2. Разработать методику проведения эксперимента (определить необходимые измерительные приборы и последовательность измерения).
3. Собрать установку для проведения эксперимента.
4. Произвести измерение параметров линий различного типа в заданном диапазоне частот.
5. Произвести анализ результатов экспериментов и дать их теоретическое обоснование.
6. Предложить критерий для оценки полученных частотных зависимостей параметров линий.
7. Сформулировать выводы по результатам измерений.
8. Составить отчет и защитить работу на семинаре.

### МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ

Важнейшими параметрами любой однородной линии, определяющими условия передачи электрических сигналов по ней, являются первичные параметры ( $R$  Ом/км,  $G$  Сим/км,  $L$  Гн/км,  $C$  Ф/км) и волновые ( $Z_0$ ,  $\gamma = \alpha + j\beta$ ).

Измерение параметров линий на практике осуществляется методом холостого хода и короткого замыкания, согласно которому

$$Z_0 = \sqrt{Z_{кз} Z_{xx}} \quad \text{и} \quad \text{th} \gamma l = \sqrt{\frac{Z_{кз}}{Z_{xx}}}$$

- где  $l$  — длина линии;  
 $Z_{кз}$ ,  $Z_{xx}$  — сопротивления соответственно холостого хода и короткого замыкания линии;  
 $\alpha$  — километрический коэффициент затухания (Нп/км);  
 $\beta$  — километрический коэффициент фазы, рад/км.

При расчетах составляющих постоянной распространения волны удобнее пользоваться следующими расчетными формулами:

$$\operatorname{th} 2\alpha l = \frac{2T \cos \varphi_T}{1 + T^2}, \quad \operatorname{tg} 2\beta' l = \frac{2T \sin \varphi_T}{1 - T^2},$$

где  $T = \sqrt{\left| \frac{Z_{кз}}{Z_{кх}} \right|}$ ,  $\varphi_T = \frac{\varphi_{кз} - \varphi_{кх}}{2}$ ,

При расчете  $\beta$  следует помнить, что функция  $\operatorname{tg}$  периодическая функция с периодом  $\pi$  и поэтому  $\beta$  выражается через определенное опытным путем  $\beta'$  следующим образом:

$$2\beta^? = 2\beta' + k\pi$$

или

$$\beta = \beta' + k \frac{\pi}{2},$$

где  $k = 0, 1, 2, 3$ .

Для определения  $\beta$  необходимо правильно выбрать  $k$ .

Принимая во внимание, что волновое сопротивление  $Z_b$  и постоянная распространения волны  $\gamma$  выражается через первичные параметры согласно следующим формулам:

$$Z_b = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}};$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)},$$

первичные параметры линий могут быть найдены с помощью опытных  $Z_b$  и  $\gamma$  в соответствии со следующими выражениями

$$R + j\omega L = Z_b \gamma, \quad G + j\omega C = \frac{\gamma}{Z_b}.$$

Данные  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $Z_b$  приведены в таблице.

Таким образом, экспериментальное исследование параметров линий сводится к определению ее входных сопротивлений в режимах короткого замыкания и холостого хода.

Таблица

Параметры передачи одночетверочных кабелей типа КСПП и КСПЗП с различным диаметром жил

f, кГц	1 × 4 × 0,9					1 × 4 × 1,2				
	$\alpha$ , дБ/км	$\beta$ , рад/км	$Z_B$ , Ом	$-S_B$ , град	$\alpha_\alpha \cdot 10^{-3}$ , град <sup>-1</sup>	$\alpha$ , дБ/км	$\beta$ , рад/км	$Z_B$ , Ом	$-S_B$ , град	$\alpha_\alpha \cdot 10^{-3}$ , град <sup>-1</sup>
0,8	0,6	0,1	536	42	—	0,5	0,1	375	41	—
6	1,4	0,3	211	30	3,4	1,0	0,2	169	24	3,4
10	1,6	0,4	183	24	3,5	1,1	0,4	152	18	3,5
20	2,0	0,7	156	17	3,3	1,5	0,7	138	14	3,5
30	2,2	1,0	147	14	2,8	1,7	1,0	131	11	3,4
40	2,4	1,3	143	11	—	1,9	1,3	129	9	—
50	2,7	2,0	136	8	3,0	2,3	2,0	125	8	2,9
76	2,9	2,5	135	7	—	2,5	2,5	124	7	—

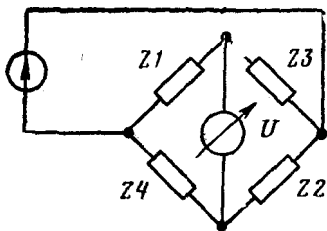


Рис. 1

Для измерений  $Z_{xx}$  и  $Z_{yx}$  предлагается использовать мост переменного тока, представляющего собой мостиковый четырехполюсник (рис. 1), в одно из плеч которого включена исследуемая линия. В одну диагональ моста включен генератор гармонических колебаний, а в другую — индикатор уровня сигнала.

Если выполняется следующее соотношение между сопротивлениями плеч моста

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3, \quad (1)$$

то наступает его равновесие, когда при подаче сигналов в одну диагональ отсутствуют сигналы в его другой диагонали.

В общем случае сопротивления плеч моста могут быть реактивными:

$$Z_1 = |Z_1| e^{j\varphi_1}, \quad Z_2 = |Z_2| e^{j\varphi_2}, \quad Z_3 = |Z_3| e^{j\varphi_3}, \quad Z_4 = |Z_4| e^{j\varphi_4},$$

тогда условия равновесия записываются в виде равенств

$$|Z_1| \cdot |Z_4| = |Z_2| \cdot |Z_3|;$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3.$$

Таким образом, чтобы реализовать равновесие моста необходимо установить определенное соотношение модулей и аргументов сопротивлений его плеч, что требует двух регулировочных элементов — одного с активным регулируемым элементом и другого с реактивным (например, емкостным) сопротивлением.

В зависимости от характера измеряемого сопротивления регулировочные должны включаться в различные плечи моста, как это показано на рис. 2. На этих рисунках клеммы  $Z_x$  предназначены для подключения входа исследуемой линии, закороченной или разомкнутой на противоположном конце,  $R_n$  — магазин сопротивлений,  $C_m$  — магазин емкостей, значения  $R$  выбираются постоянными, к примеру, равными 1000 Ом.

Схема, изображенная на рис. 2, а, предназначена для измерения сопротивления с емкостной реактивной составляющей. Действительно, если измеряемое входное сопротив-

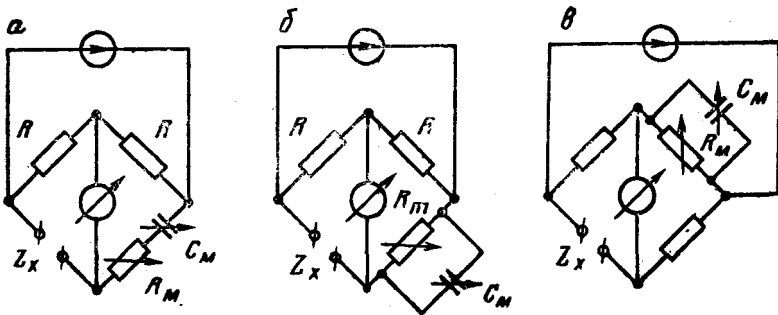


Рис. 2

ление линии  $Z_x$  ( $Z_{кз}$  или  $Z_{хх}$ ) имеет емкостной характер реактивной составляющей  $Z_x = R_x - j \frac{1}{\omega C_x}$ , то условие равновесия моста (1) запишется в виде

$$R_x - j \frac{1}{\omega C_x} = R_m - j \frac{1}{\omega C_m},$$

откуда  $R_x = R_m$  и  $C_x = C_m$ .  
Таким образом

$$Z_x = |Z_x| e^{j\varphi_x} = \sqrt{R_m^2 + (\omega C_m)^2} e^{-j \arctg \frac{1}{\omega C_m R_m}}.$$

При измерении чисто активного сопротивления или комплексного сопротивления с относительно малой емкостной составляющей применяется схема, изображенная на рис. 2, б.

Когда  $Z_x = R_x$  емкость  $C_m$  в этой схеме устанавливается равной нулю. При измерении сопротивления с небольшой емкостной составляющей условие равновесия будет иметь вид

$$R_x - j \frac{1}{\omega C_x} = \frac{R_m \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}}.$$

Так как  $R_x \gg 1/\omega C_x$ , то после преобразования этого выражения получим

$$R_x \approx R_m \text{ и } \frac{1}{\omega C_x} \approx \omega C_m R_m^2.$$



В этом случае

$$|Z_x| = \sqrt{R_m^2 + (\omega C_m R_m)^2} \quad \text{и} \quad \varphi_x = -\arctg \omega C_m R_m.$$

Для измерения сопротивления с индуктивной реактивной составляющей  $Z_x = R_x + j\omega\alpha_x$  применяется схема, изображенная на рис. 2, в, условие равновесия для которой имеет вид

$$(R_x + j\omega\alpha_x) \frac{R_m \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}} = R^2$$

откуда следует

$$R_x = \frac{R^2}{R_m} \quad \text{и} \quad \omega\alpha_x = \omega C_m R^2.$$

Модуль и аргумент измеряемого сопротивления будут равны

$$|Z_x| = \sqrt{\left(\frac{R^2}{R_m}\right)^2 + (\omega C_m R^2)^2}, \quad \varphi_x = \arctg \omega R_m C_m.$$

После освоения изложенного выше метода измерения входных сопротивлений линии приступайте к составлению методики измерений.

В лаборатории имеются следующие измерительные приборы: магазин сопротивлений, мост переменного тока МПП-300, а также многопозиционные ключи и коммутационные поля.

#### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Методика экспериментальных исследований.
2. Таблица результатов исследований и построение по ним графиков.
3. Схемы замещения линий, методика расчета элементов схемы замещения.
4. Выводы по результатам исследования линии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коллер М. Я. «Теория линейных электрических цепей». М.: Транспорт, 1978.
2. Конспект лекций по курсу «Теория линейных электрических цепей железнодорожной телемеханики и связи».