

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛИННЫХ ЛИНИЙ

Плотников С.М., Колмаков О.В.

*Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск,
Российская Федерация*

Ключевые слова: длинные линии, эквивалентное сопротивление, последовательно-параллельные звенья, формула, число Фидия.

Аннотация. Рассматривается однородная электрическая цепь с бесконечным числом последовательно-параллельных звеньев, которая имеет место для длинных линий связи и электропередач. Получены формулы эквивалентного сопротивления линий двух конфигураций для частного случая, при котором отдельные участки линии имеют одинаковое активное сопротивление. Значение эквивалентного сопротивления линии определено в зависимости от соотношения сопротивления участка и сопротивления изоляционного промежутка на данном участке. Установлено, что уменьшение сопротивления этого участка в десять раз дает трехкратное снижение эквивалентного сопротивления.

DETERMINING THE EQUIVALENT RESISTANCE OF LONG LINES

Plotnikov S.M., Kolmakov O.V.

Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk, Russian Federation

Keywords: long lines, equivalent resistance, series-parallel links, formula, Fidian number.

Abstract. Homogeneous electric circuit with infinite number of series-parallel links, which takes place for long communication and power lines, is considered. Equivalent line resistance formulas for two configurations are obtained for the particular case, when individual line sections have the same active resistance. The value of the equivalent line resistance is determined as a function of the ratio of the section resistance to the resistance of the insulating gap in the given section. It is found that a tenfold decrease in the resistance of this section results in a threefold decrease in the equivalent resistance.

Схемы с бесконечно большим числом элементов, включенных параллельно и последовательно, используются для расчета длинных линий связи и электропередач, а также для расчета трансформаторов [1-3]. Здесь параллельные элементы (поперечные параметры) представляют собой сопротивления изоляционных промежутков между проводами, а последовательные – сопротивления участков линии (продольные параметры). Поэтому расчет эквивалентного сопротивления таких линий представляет собой не только теоретическую, но и практическую задачу.

Однородную линию электропередач можно разбить на одинаковые участки (звенья) с сопротивлением R . Тогда сопротивления изоляционных промежутков между проводами линии или между проводом линии и потенциалом земли на этих участках также можно считать одинаковыми, равными nR . Коэффициент n показывает, во сколько раз сопротивление изоляционного промежутка между проводами линии или между проводом

линии и потенциалом земли на отдельном участке больше сопротивления этого участка. В зависимости от изоляционных свойств пространства и от расстояния между проводами коэффициент n может принимать значения от единиц до многих тысяч. Для линий электропередач данный коэффициент существенно зависит от влажности и запыленности воздуха, а также от его температуры [4].

Рассмотрим две конфигурации длинных линий, в первой из которых продольными параметрами являются сопротивления участков линии, поперечными – сопротивления между участками (рис. 1а), а во второй поперечные участки соединены с потенциалом земли (рис. 1б), Здесь x – эквивалентное сопротивление линии.

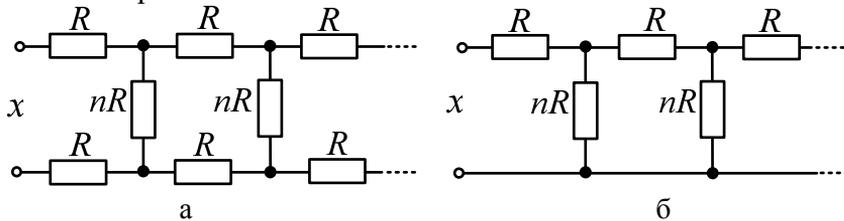


Рис. 1. Схемы длинных линий

Эквивалентное сопротивление x линии с бесконечным числом элементов можно определить, выделив одно первое звено. В оставшейся схеме по-прежнему будет бесконечное число элементов (рис. 2), эквивалентное сопротивление которых также можно считать равным x .

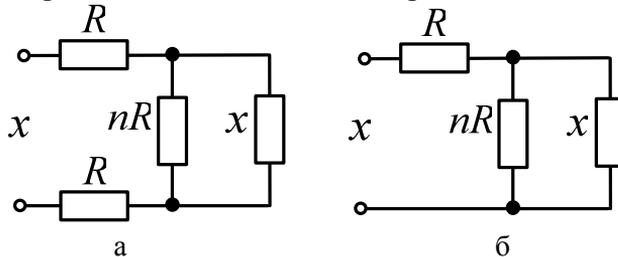


Рис. 2. Схемы длинных линий с выделенным первым звеном

Эквивалентное сопротивление полученной цепи (рис. 2а) определим по формуле:

$$x = 2R + \frac{nR \cdot x}{nR + x}, \tag{1}$$

где R – сопротивление участка линии;

nR – сопротивление между проводами линии (рис. 2а); сопротивление между проводом линии и землей (рис. 2б).

После преобразования (1) имеет вид квадратного уравнения:

$$x^2 - 2Rx - 2nR^2 = 0. \tag{2}$$

Решение (2) дает значение выраженного в R эквивалентного сопротивления линии

$$x = R(1 + \sqrt{1 + 2n}). \tag{3}$$

Аналогичное решение для схемы рисунка 2б дает значение выраженного в R эквивалентного сопротивления между проводом линии и землей

$$x = \frac{R}{2}(1 + \sqrt{1 + 4n}). \quad (4)$$

В таблице 1 представлены значения эквивалентного сопротивления для схем а и б рисунка 2 для разных значений n .

Табл. 1. Эквивалентное сопротивление в зависимости от коэффициента n

n	Схема а	Схема б
1	2,732 R	1,618 R
2	3,236 R	2 R
10	5,586 R	3,702 R
100	15,18 R	10, 51 R
1000	45,73 R	32,13 R

При равенстве сопротивлений участков линии и сопротивлений изоляционных промежутков между проводами и потенциалом земли на данных участках ($n = 1$) эквивалентное сопротивление принимает значение $1,618R$, т.е. представляет собой число Фидия (золотое сечение). Выраженное в сопротивлениях отдельных участков эквивалентное сопротивление линии в зависимости от коэффициента n представлено на рисунке 3.

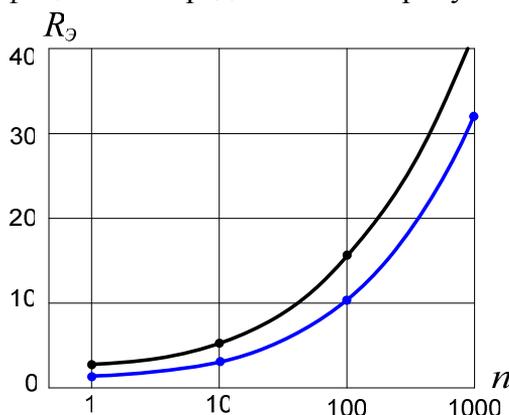


Рис. 3. Зависимость эквивалентного сопротивления линии от коэффициента n

Из полученных результатов следует, что уменьшение на любом интервале коэффициента n в 10 раз, связанное, например, с повышением влажности окружающей линию среды, приводит к уменьшению эквивалентного сопротивления линии приблизительно в три раза.

Полученные формулы эквивалентного сопротивления линии облегчают электрический расчет длинных линий связи и электропередач.

Список литературы

1. Плотников С.М. Анализ сопротивлений схемы замещения трансформаторов серии ТМ // Известия вузов. Электромеханика. 2021. Т. 64. № 1. С.43-47. DOI:10.17213/0136-3360-2021-1-43-47.

2. Плотников С.М., Колмаков О.В. Решение актуальных вопросов в теории трансформаторов // Известия вузов. Электромеханика. 2021. Т. 64. № 3. С.5-11. DOI:10.17213/0136-3360-2021-3-5-11.
3. Плотников С.М. Анализ методов определения потерь в магнитопроводе трансформатора // Измерительная техника. 2022. № 1. С. 52–57. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-1-52-57>.
4. Белецкий А.Ф. Теория линейных электрических цепей. – М.: Лань (СПО), 2021. – 544 с.

References

1. Plotnikov S.M. Analysis of the Resistances of the Equivalent Circuit of TM Series Transformers // Russian Electromechanics, 2021, vol. 64, no. 1, pp. 43-47. DOI: 10.17213/0136-3360-2021-1-43-47.
2. Plotnikov S.M., Kolmakov W.O. Solution of Topical Issues in Theory of Transformers // Russian Electromechanics, 2021, vol. 64, no. 3, pp. 5-11. DOI: 10.17213/0136-3360-2021-3-5-11.
3. Plotnikov S.M. Analysis of the methods for determining losses in the transformer magnetic core // Measurement Techniques. 2022, no 1, pp. 52-57. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-1-52-57>
4. Beletsky A.F. Theory of linear electric circuits. – М.: Lan' (SPO), 2021. – 544p.

Плотников Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Системы обеспечения движения поездов»	Plotnikov Sergey Mikhailovich – doctor of technical sciences, associate professor, professor of Department «Train control systems»
Колмаков Олег Витальевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Системы обеспечения движения поездов»	Kolmakov Oleg Vitalievich – candidate of technical sciences, associate professor, head of Department «Train control systems»
smplochnikov@rabler.ru	

Received 13.06.2022