



**АНАЛИЗ РАЗНИЦЫ В ЗНАЧЕНИЯХ КОЭФФИЦИЕНТА ФАЗЫ ПРИ
РАСЧЕТЕ ПО ПОЛНОЙ И УПРОЩЕННОЙ ФОРМУЛЕ**
ANALYSIS OF THE DIFFERENCE IN THE VALUES OF THE PHASE
COEFFICIENT WHEN CALCULATED USING THE FULL AND SIMPLIFIED
FORMULA

Петрова Дарья Александровна, аспирант кафедры электроэнергетика транспорта, РУТ (МИИТ), г. Москва, Россия

Болотина Евгения Дмитриевна, аспирант кафедры электроэнергетика транспорта, РУТ (МИИТ), г. Москва, Россия

Болотина Александра Борисовна, кандидат технических наук, доцент, РУТ (МИИТ), г. Москва, Россия

Petrova Darya Aleksandrovna, Postgraduate student of the Department of Electric Power Engineering of Transport, RUT (MIIT), Moscow, Russia, e-mail: kim911@bk.ru

Bolotina Evgeniya Dmitrievna, Postgraduate student of the Department of Electric Power Engineering of Transport, RUT (MIIT), Moscow, Russia, e-mail: janeb-work@yandex.ru

Bolotina Alexandra Borisovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, RUT (MIIT), Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается два способа задания коэффициента фазы. Данный коэффициент используется при задании фазовой скорости у импульсных рефлектометров. Задать коэффициент фазы можно по прямой и по упрощённой формуле, однако значения будут различаться. Проведён анализ задания коэффициента фазы по двум формулам, рассчитана абсолютная погрешность при разных значениях отклонений первичных параметров. Рассчитана и проанализирована относительная погрешность. Выявлена зависимость между величиной погрешности расчётной формулой. Даны рекомендации по повышению точности импульсных рефлектометров.

Annotation

The article discusses two ways to set the phase coefficient. This coefficient is used when setting the phase velocity of pulse reflectometers. You can set the phase coefficient using a straight line and a simplified formula, but the values will vary. The analysis of the phase coefficient assignment according to two formulas is carried out, the absolute error is calculated for different values of deviations of the primary parameters. The relative error is calculated and analyzed. The dependence between the error value of the calculation formula is revealed. Recommendations for improving the accuracy of pulse reflectometers are given.

Ключевые слова: абсолютная погрешность, относительная погрешность импульсный рефлектометр, метод отраженных импульсов, диапазон частот

Keywords: absolute error, relative error pulse reflectometer, reflected pulse method, frequency range

На сегодняшний день все населённые территории России объединены единой энергетической системой. Данная энергосистема состоит из двух зон. В одну из них входит шесть совместно работающих объединённых энергосистем: Сибири, Урала, Средней Волги, Юга, Центра и Северо-запада, а во вторую входит только одна объединённая энергосистема Дальнего

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Востока. И хотя между этими линиями существует связь, представляющая собой три линии 220 кВ, которые расположены вдоль Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей, совместная работа их не возможна по целому ряду причин.

Единая энергосистема России, что была описана выше, является крупнейшим в мире энергообъединением с централизованной системой управления. Поскольку многие её узлы, например Московский, играют стратегически важную роль [5], обеспечение надёжности является первоочередной задачей. Многочисленные анализы аварий в энергетической системы Росси выявили, что наиболее уязвимое место энергосистемы - воздушные линии электропередачи (ВЛЭП).

К наиболее частым причинам аварийных режимов ВЛЭП можно отнести как износ электрооборудования, так и различные климатические факторы, такие как гололёд, ветровая нагрузка, геомагнитные бури, а также удары молний. Последние наиболее опасны, так как вызывают пробой изоляции, что впоследствии приводит к возникновению электрической дуги. Так как линии электропередач не резервируются, то любое их повреждение может привести к перебоям электроэнергии, что может привести к значительным экономическим потерям. А так как воздушные линии России отличаются большой протяженностью, то своевременное выявление мест повреждений позволяет снизить все риск длительного отключения электроэнергии.

Для диагностики и определения мест повреждений ВЛЭП, на сегодняшний день существует множество различных технических средств [1-2]. Сейчас широкое распространение получили приборы, принцип действия которых основан на распространении зондирующего импульса по исследуемому участку. Данный импульс распространяется с некой скоростью v , а на основании измерения времени t задержки отражённого импульса от места аварии можно определить расстояние до места повреждения по формуле

$$l = v \times \frac{t}{2}.$$

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Данный метод имеет несколько названий, одно из которых: метод импульсной рефлектометрии. Другие варианты названия: метод отраженных импульсов или локационный метод. Приборы, использующие данный метод носят название импульсные рефлектометры.

Одно из существенных преимуществ рефлектометров - простая методика контроля ВЛЭП. Однако данный прибор не лишен недостатков. Особо следует выделить сложность регистрации отражённых сигналов. Эти сигналы могут отражаться не только от места повреждения, но и от других неоднородностей. Так же следует отметить, что для получения нужных значений, рефлектометры используют косвенные методы измерения, из-за чего на точность вычисления могут влиять различные внешние факторы. Более того, отраженный сигнал всегда слабее зондирующего и в той или иной степени искажен, что так же является причиной погрешности

Функциональная блок-схема импульсного рефлектометра показана на рисунку 1 [2]. При реализации метода отраженных импульсов происходят следующие операции:

- на первом этапе исследуемая линия проверяется при помощи импульсов напряжения;
- далее происходит регистрация импульсов, которые отразились от места аварии или неоднородностей;
- на фоне случайных помех и отражений от неоднородностей выявляется полезный сигнал;
- по времени задержки отраженного импульса относительно зондирующего определяют расстояние до места повреждения.



Рисунок 1–Импульсный рефлектометр

При составлении математической модели линии следует учитывать, что ВЛЭП переменного тока это линия с распределёнными параметрами. От этих параметров и будет зависеть и скорость прохождения импульса по данной линии. На практике, при создании математической модели применяют схему замещения бесконечно малого участка линии[4]. Всего существует целый ряд всевозможных схем замещения, выбор которых зависит от конкретных целей проектирования. Для того чтобы смоделировать воздушную линию, чаще всего применяется схема замещения, приведённая на рисунке 2.

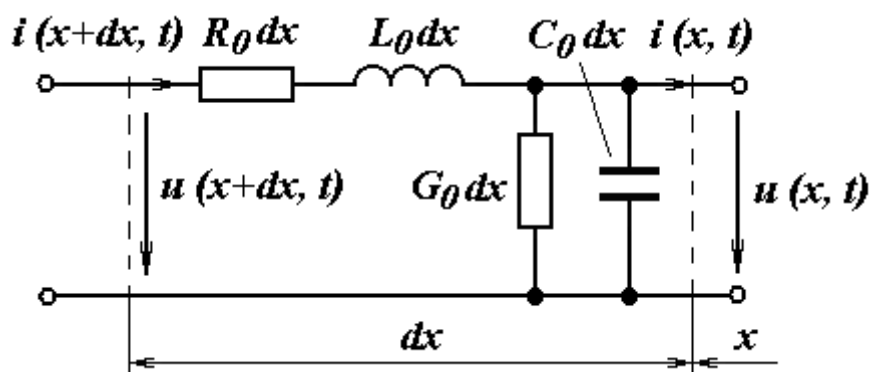


Рисунок 2 – Схема замещения элементарного участка линии; i , – мгновенное значение тока, u – мгновенное значение напряжения.

Если говорить о длинной линии, то необходимо сказать, какими параметрами она характеризуется. Параметры подразделяются на первичные и вторичные (характеристические). К первичным относят: поперечную емкость (C_0) между прямыми и обратными проводами, индуктивность (L_0), образованную петлёй прямого и обратного провода, продольное активное

сопротивление (R_0) прямого и обратного проводов, поперечная активная проводимость утечки изоляции (G_0) между прямым и обратным проводами.

Вторичными или же характеристическими параметрами длинной линии являются коэффициенты: затухания α и фазы β , а так же волновое сопротивление Z_B .

При выражении вторичных параметров через первичные, получим следующее выражение:

$$\gamma^2 = (r_0 + j\omega L_0) \times (g_0 + j\omega C_0) = (\alpha + j\beta)^2, \quad (1)$$

где γ - коэффициент распространения электромагнитной волны,

ω – угловая частота,

r_0 - удельное сопротивление линии,

g_0 - удельная проводимость линии.

Поскольку главной задачей рефлектометров является определение расстояния до места повреждения, то в первую очередь необходимо рассчитывать фазовую скорость импульса, которая определяется по формуле:

$$v_\phi = \omega / \beta \quad (2)$$

где ω – угловая частота;

β - коэффициент фазы.

Коэффициент фазы характеризует изменение фазы бегущей волны и может определяться по полной (3) и упрощённой формуле (4), которые находятся из выражения (1).

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega^2 L_0 C_0 - r_0 g_0 + \sqrt{(r_0^2 + \omega^2 L_0^2)(g_0^2 + \omega^2 C_0^2)}}, \quad (3)$$

$$\beta = \omega \sqrt{L_0 C_0} \quad (4)$$

Для примера расчёта возьмем воздушную линию длиной 150 км со следующими первичными параметрами:

$$L_0 = 1,344 \text{ Гн};$$

$$C_0 = 9,45 \cdot 10^{-7} \text{ Ф};$$

$$R_0 = 3300 \text{ Ом};$$

$$G_0=6 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

Для этих значений рассчитаем коэффициент фазы по полной и по упрощённой формуле. Результат представим в виде графика (рис 3).

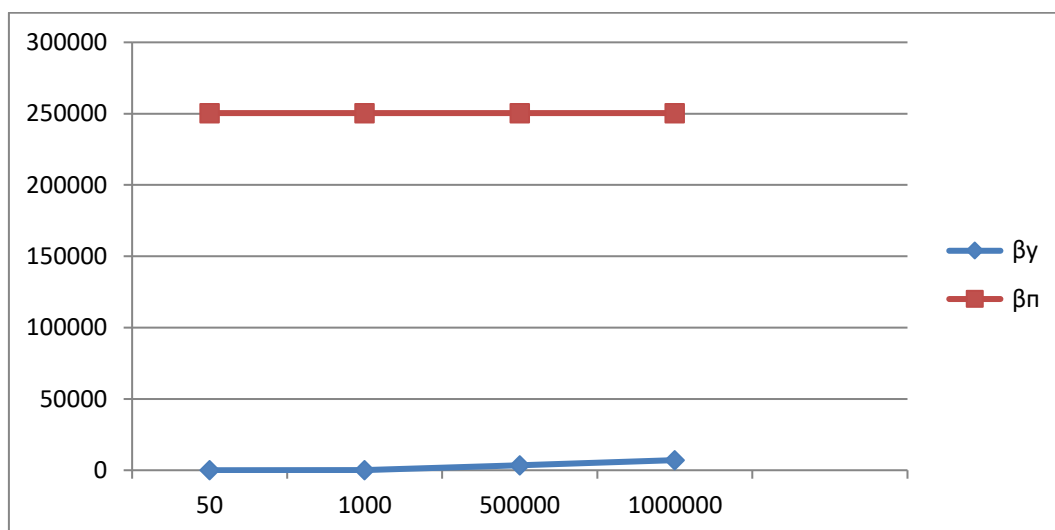


Рисунок 3- Зависимость коэффициента фазы от частоты. $\beta_{\text{у}}$ - коэффициент фазы, рассчитанный по упрощенной формуле, $\beta_{\text{п}}$ - коэффициент фазы, рассчитанный по полной формуле

Из графика видно, что при одних и тех же частотах значения коэффициента фазы при расчёте по полной и по упрощенной формуле на порядок различаются, что влияет на точность измерений. Рассмотрим причину возникновения столь большой разницы, рассчитав абсолютные и относительные погрешности. Поскольку рефлектометры реализуют косвенный метод измерения, то погрешности их будут складываться из погрешностей параметров R_0 , C_0 , G_0 и L_0 .

Для определения абсолютной погрешности коэффициента фазы, зададимся отклонением первичных параметров: 1%, 5% и 10% от величин R_0 , C_0 , L_0 и G_0 . результаты расчета абсолютной погрешности для трёх значений отклонения представлены в виде графика на рисунке 4.

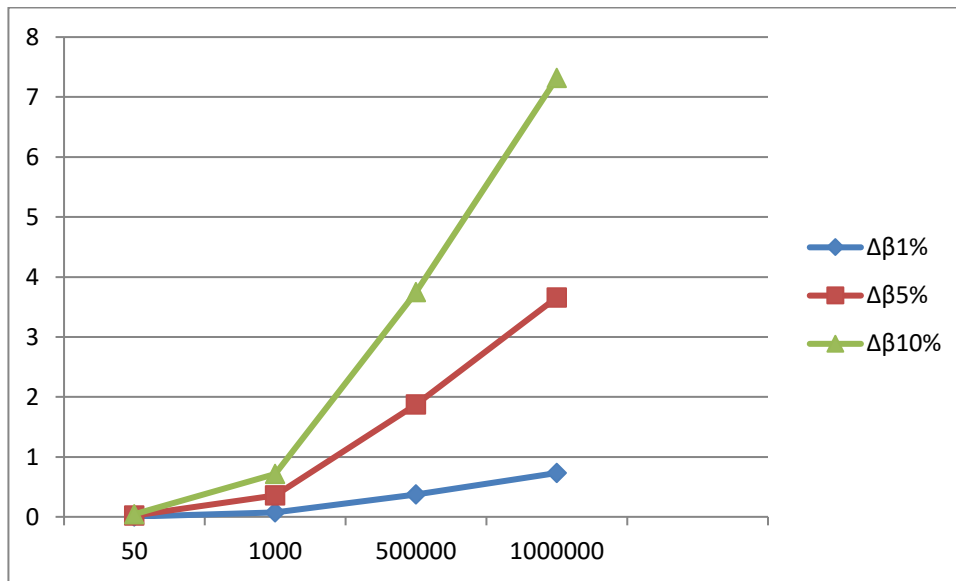


Рисунок 4 - Зависимость абсолютной погрешности коэффициента фазы от частоты

Относительная погрешность определяется по формуле:

$$\delta_{\beta} = \frac{\Delta\beta}{\beta} \cdot 100\% , \quad (5)$$

Рассчитаем погрешности и представим результаты в виде графиков (рис. 5-7).

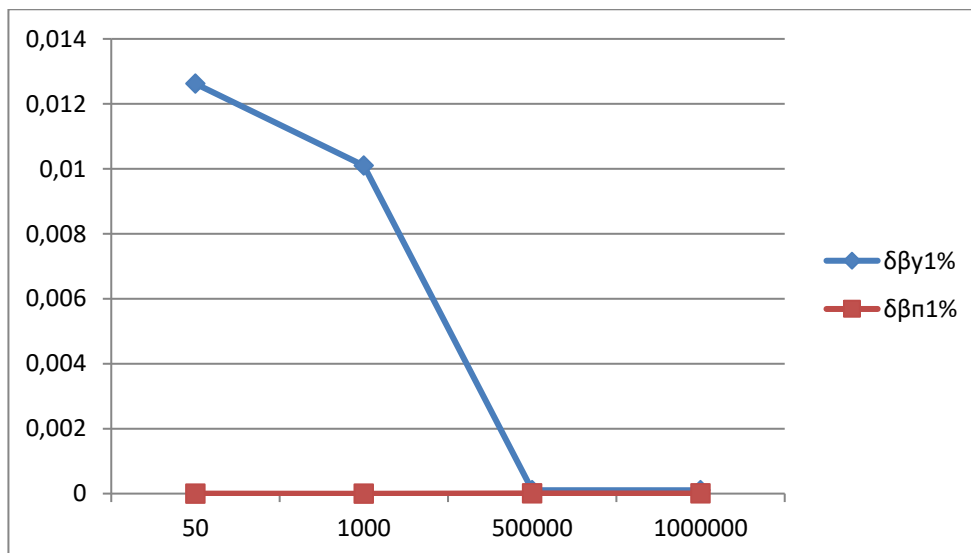


Рисунок 5 - Зависимость относительной погрешности коэффициента фазы, рассчитанной по полной и по упрощённой формуле при отклонении параметров 1% от частоты. $\delta\beta_{y1\%}$ - погрешность коэффициента фазы, рассчитанная по упрощенной формуле, $\delta\beta_{п1\%}$ - погрешность коэффициента фазы, рассчитанная по полной формуле

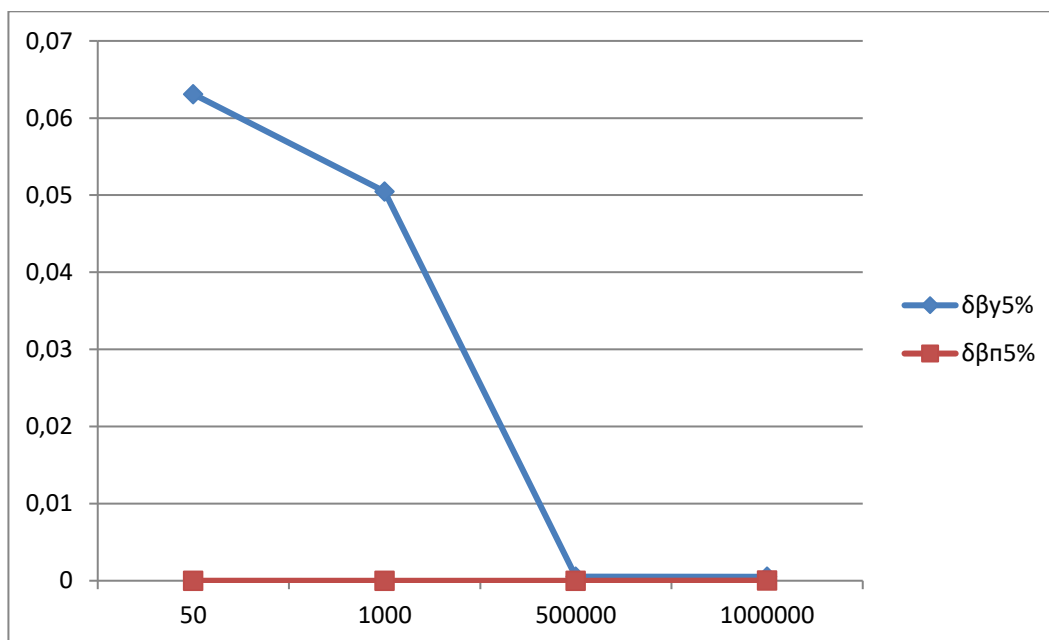


Рисунок 6 - Зависимость относительной погрешности коэффициента фазы, рассчитанной по полной и по упрощённой формуле при отклонении параметров 5% от частоты. $\delta\beta_{\gamma 5\%}$ - погрешность коэффициента фазы, рассчитанная по упрощенной формуле, $\delta\beta_{\pi 5\%}$ - погрешность коэффициента фазы, рассчитанная по полной формуле

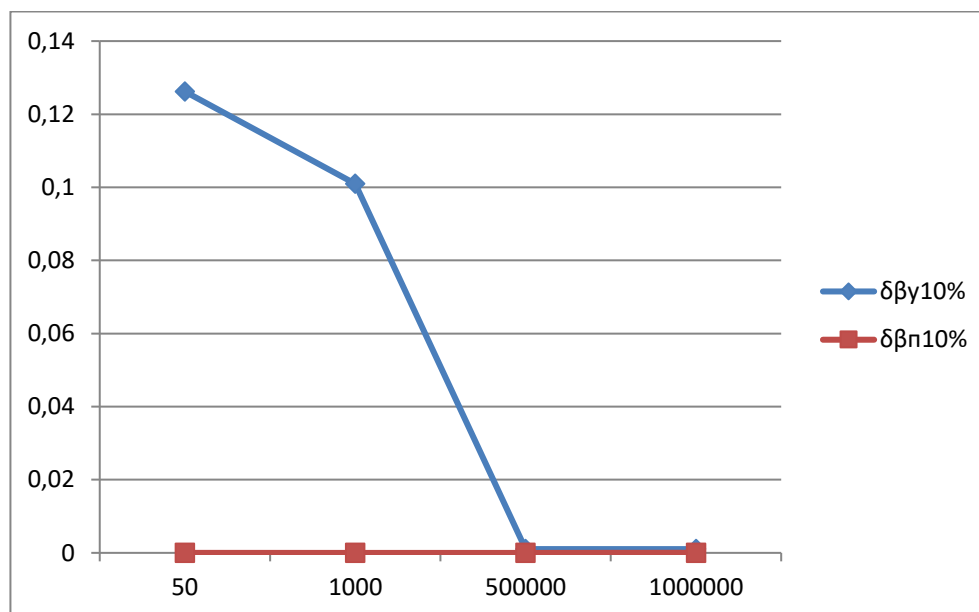


Рисунок 7 - Зависимость относительной погрешности коэффициента фазы, рассчитанной по полной и по упрощённой формуле при отклонении параметров 10% от частоты. $\delta\beta_{y10\%}$ - погрешность коэффициента фазы, рассчитанная по упрощенной формуле, $\delta\beta_{п10\%}$ - погрешность коэффициента фазы, рассчитанная по полной формуле

Выводы. На основании проведённых расчётов можно сделать вывод, что основным источником погрешностей у рефлектометров является выбор расчётного выражения, а именно использования упрощённой формулы для задания фазовой скорости. Несмотря на то, что на высоких частотах абсолютная погрешность возрастает, использование полной формулы позволяет уменьшить относительную погрешность даже при большом значении отклонений параметров. Если же брать применять упрощенные выражение, то необходимо тщательно производить корректировку всех параметров, чтобы повысить точность прибора определения расстояния до места повреждения линии.

Литература

1. Аржанников, Е.А. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях: учеб. пособие / Е.А.Аржанников, А. М. Чухин. – Иваново: Ивановский гос.энергетич. ун-т, 1998. – 74 с.

2. Бессонов, А. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи / А. А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1978. – 528 с.
3. Блинов И. В., Парус Е. В., Полищук Е. Ю. Мониторинг воздушных линий электропередачи с использованием индикаторов повреждений // Электроэнергетические системы и сети. – 2013. - №4. – С. 42 – 44.
4. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 248 с.
5. Черныш Ю.В. Единая энергетическая система России / Инфраструктурные отрасли экономики: проблемы и перспективы развития, 2013 - №1 С.59 - 65.

Literature

1. Arzhannikov, E.A. Methods and devices for determining the location of a short circuit on lines: textbook. manual / E.A.Arzhannikov, A.M. Chukhin. – Ivanovo : Ivanovo State Power Engineering. un-t, 1998. – 74 p.
2. Bessonov, A. A. Theoretical foundations of electrical engineering: Electrical circuits / A. A. Bessonov. – М.: Higher School, 1978. – 528 p.
3. Blinov I. V., Parus E. V., Polishchuk E. Yu. Monitoring of overhead power transmission lines using damage indicators // Electric power systems and networks. - 2013. - No. 4. – pp. 42-44.
4. Novitsky, P.V. Estimation of measurement results errors / P. V. Novitsky, I. A. Zograf. - L.: Energoatomizdat, 1985. - 248 p.
5. Chernysh Yu.V. Unified energy system of Russia / Infrastructure sectors of the economy: problems and prospects of development, 2013 - No. 1 pp.59-65.

© Петрова Д.А., Болотина Е.Д., Болотина А.Б., 2022 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №5/2022.

Для цитирования: Петрова Д.А., Болотина Е.Д., Болотина А.Б. АНАЛИЗ РАЗНИЦЫ В ЗНАЧЕНИЯХ КОЭФФИЦИЕНТА ФАЗЫ ПРИ РАСЧЕТЕ ПО ПОЛНОЙ И УПРОЩЕННОЙ ФОРМУЛЕ// Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №5/2022.