

УДК 621.316.1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ПО ТРЕХФАЗНЫМ ВОЗДУШНЫМ ЛИНИЯМ 10 кВ

И. Х. Гарипов, Л. М. Рыбаков

Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

В статье рассмотрен анализ экспериментальных данных по исследованию распространения электромагнитных волн по воздушным линиям электропередач при различных схемах линии и на разных частотах.

The article presents an analysis of experimental data on the study of electromagnetic waves on overhead power lines with different line scheme and at different frequencies.

Ключевые слова: электромагнитные волны, затухание, диапазон частот, дефектный изолятор.

Причинами однофазных замыканий в сетях 10 кВ являются: пробой изоляционных элементов в сетях 10 кВ; обрыв провода из-за пережога при длительном однофазном замыкании при пробое изолятора; обрыв провода из-за некачественного монтажа и внешних климатических воздействий [1].

Средняя длительность одного отключения, вызванного обрывом провода, составляет 5,6 часа, а по причине отказов изоляторов – 3 часа летом и 4,9 часа зимой.

Анализ отказов проводов показывает, что основное число обрывов (41,4 %) происходит в зимнее время, а пробой изоляторов (58,8 %) в летние месяцы (апрель–август), причем значительная доля приходится на грозовые перенапряжения (40,1 % от общего числа), а на внутренние перенапряжения соответственно 33,2 %.

На отыскание и устранение отказов элементов распределительных сетей затрачивается значительное время. Поэтому необходимы дальнейшие исследования по своевременному выявлению дефектов в распределительных сетях в целях сокращения времени на их устранение.

Предварительные исследования в лабораторных условиях [2] позволили установить диапазон частот, генерируемых дефектными элементами сетей 10 кВ.

Целью эксперимента было подтверждение диапазона частот, полученных в лабораторных условиях, и целесообразности их использования при диагностировании на реальных РЭСН 10 кВ.

Эксперимент проводился на линии с треугольным расположением проводов подачей высокочастотного сигнала от генератора Г4-158 на фазные провода А, В, С, с которых проводились измерения в точках, удаленных на различные расстояния по линии.

Исследовалось распространение сигнала при различном включении генератора:

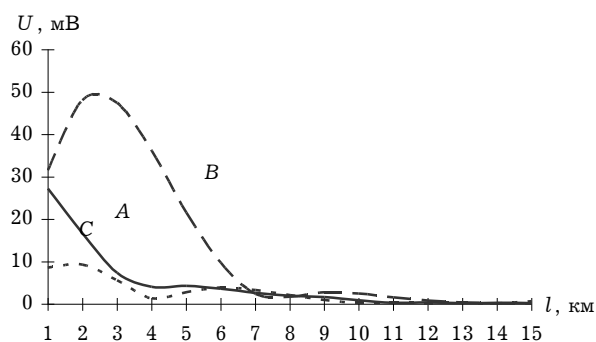
1) генератор включен в начале неразветвленной линии длиной 15 км;

2) генератор включен в середине неразветвленной линии длиной 15 км;

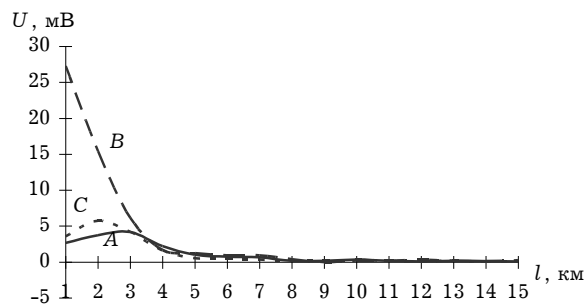
3) генератор включен в начале линии, имеющей отвлечение на 7-м километре, равное остаточной длине линии.

Проведем анализ полученных результатов:

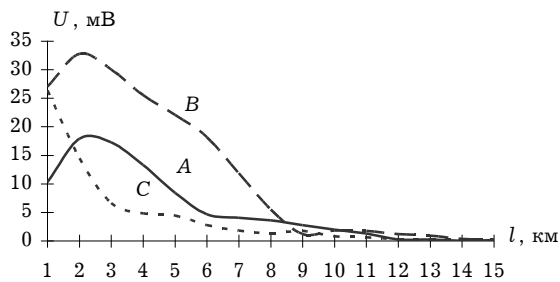
Сравнивая графики (рис. 1), можно сделать предположение о возможности определения фазы, на которой расположен генератор сигналов, по соотношению между уровнями сигнала на различных фазах. При этом дальность обнаружения дефекта на частоте 40 МГц составляет 7–9 км. При повышении чувствительности приборов появляется возможность увеличить дальность регистрации сигналов, обладающих положительной диагностической ценностью.



а) генератор сигнала подключен к фазе А



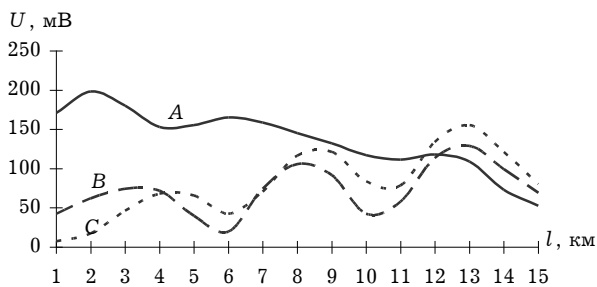
б) генератор сигнала подключен к фазе В



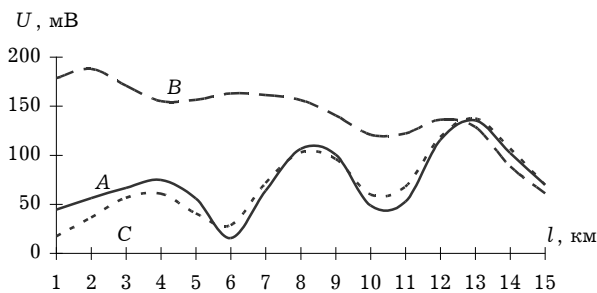
в) генератор сигнала подключен к фазе C

Рис. 1. Зависимость уровня сигнала от расстояния, тестовая частота 40 МГц, вариант 1

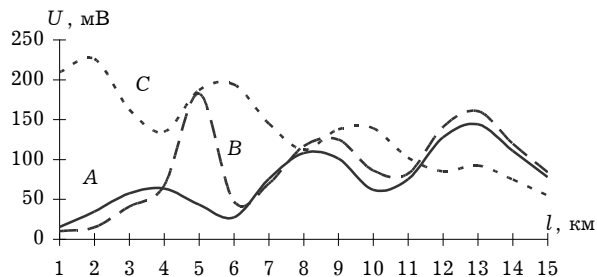
Анализируя графики на рисунке 2 (вариант 1), представленные для частоты 9 МГц, можно отметить, что уровень сигнала, несмотря на периодические колебания, остается достаточно стабильным и затухание на этой частоте незначительно. На этой частоте возможна регистрация сигнала на довольно большом удалении от источника разряда, однако отсутствие видимой закономерности в изменении затухания на различном расстоянии не позволяет использовать эту частоту для определения дальности до дефекта (генератора сигналов).



а) генератор сигнала подключен к фазе A



б) генератор сигнала подключен к фазе B

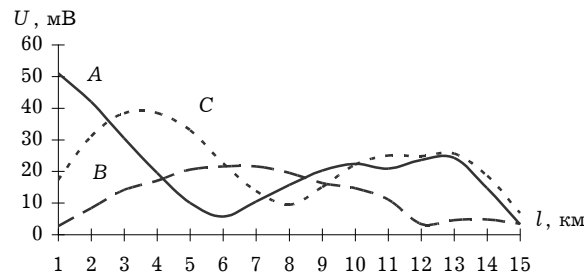


в) генератор сигнала подключен к фазе C

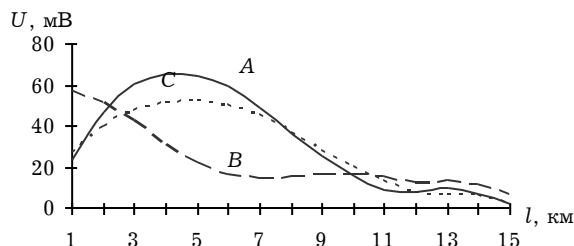
Рис. 2. Результаты моделирования по варианту 1, тестовая частота 9 МГц

На частоте 27 МГц (рис. 3.) уже начинает проявляться устойчивая зависимость уровня сигнала от расстояния до генератора. Так, на фазе, к которой подключен генератор, сигнал монотонно уменьшается, что объясняется хорошим прохождением сигнала непосредственно по проводу кондуктивным путем. При этом на затухание большее влияние будут оказывать емкости фаз, чем переизлучение с соседних фаз. Из этого следует, что уровень сигнала на средней фазе будет несколько выше, чем на крайних фазах. Общий уровень остается достаточно высоким, что позволяет использовать эту частоту для диагностирования при определении расстояния до дефекта.

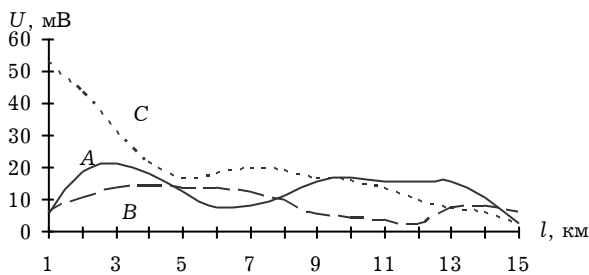
Затухание на частоте 40 МГц (рис. 1) имеет более выраженный характер. Как и на частоте 27 МГц, уровень сигнала на фазе, к которой присоединен генератор, монотонно уменьшается. Уровень сигнала на крайних фазах имеет существенное отличие. Повышение уровня сигнала на 2–3-м км, скорее всего, это следствие влияния нарушения однородности структуры линии (начало линии, наличие ТП, разветвления и т. д.) или наличие резонанса на этой частоте для участка линии определенной длины. Эту частоту можно использовать при определении точного положения дефектного элемента.



а) генератор сигнала подключен к фазе A



б) генератор сигнала подключен к фазе B



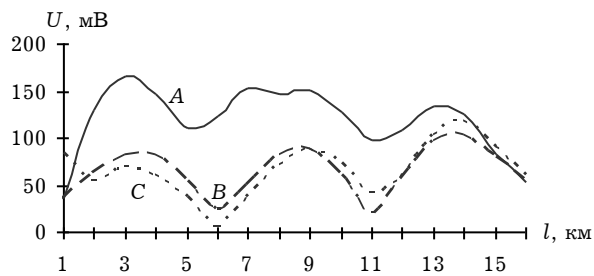
в) генератор сигнала подключен к фазе C

Рис. 3. Результаты моделирования по варианту 1, тестовая частота 27 МГц

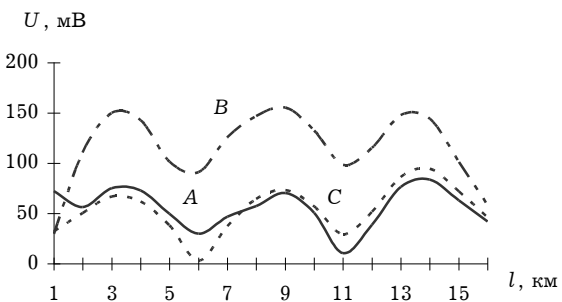
В отношении результатов, полученных по варианту 2 (рис. 4–6) для 9 МГц, можно отметить, что, в отличие от варианта 1, наблюдается более выраженное преобладание уровня сигнала на фазе, к которой подключен генератор, по сравнению с соседними фазами.

На графиках, представленных для частоты 27 МГц, можно отметить, что для крайних фаз имеет место резонансное переизлучение на противоположную фазу, отмечаемое по максимуму уровня излучения на расстоянии 4–5 км от точки включения генератора. Для средней фазы характер распространения существенно иной. При установке генератора на среднюю фазу уровень сигнала вблизи от точки включения имеет максимум на расстоянии около 2–3 км, что можно объяснить сильным влиянием переизлучения с соседних фаз.

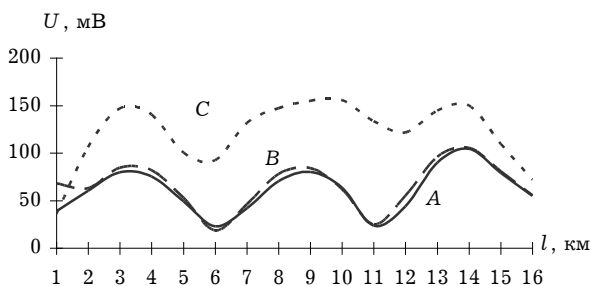
На частоте 40 МГц из-за сильной связи между фазными проводами затухание сигнала имеет более отчетливый характер. При отсутствии генератора на средней фазе в точке расположения генератора уровень сигнала падает (имеет провал амплитуды). На противоположной фазе уровень сигнала также незначителен.



а) генератор сигнала подключен к фазе А



б) генератор сигнала подключен к фазе В

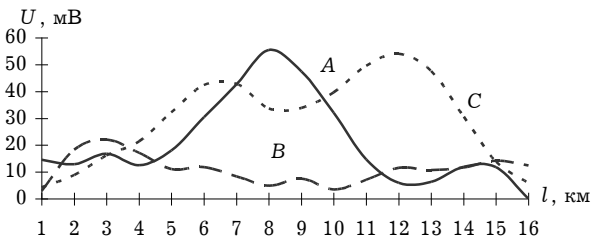


в) генератор сигнала подключен к фазе С

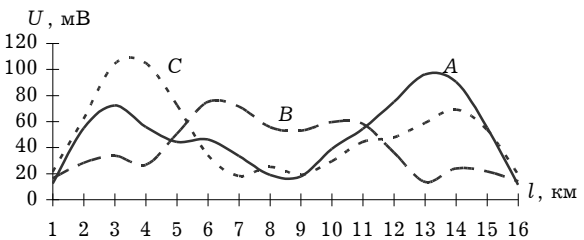
Рис. 4. Результаты моделирования по варианту 2, тестовая частота 9 МГц

Отсюда можно сделать вывод, что сигнал на частоте 40 МГц распространяется преимущественно между

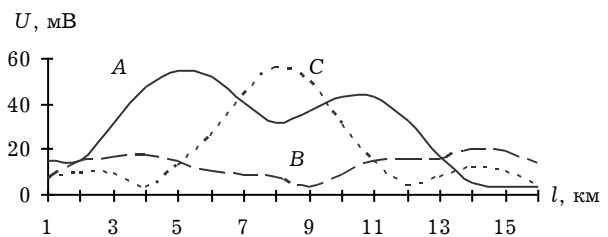
фазными проводами, а не между проводом и землей, т. е. для частоты 40 МГц линия представляет собой хорошую направляющую систему по пути фаза–фаза, что необходимо учитывать при использовании для измерения электромагнитного поля направленных антенн. Значительный уровень сигнала при установке генератора на среднюю фазу указывает также на этот механизм распространения сигнала.



а) генератор сигнала подключен к фазе А

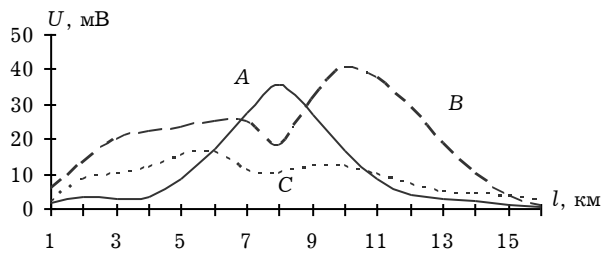


б) генератор сигнала подключен к фазе В

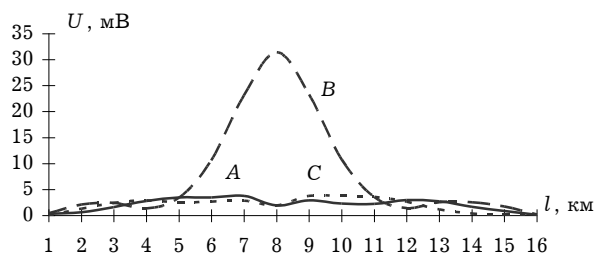


в) генератор сигнала подключен к фазе С

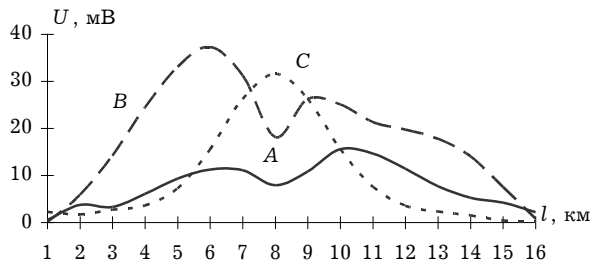
Рис. 5. Результаты моделирования по варианту 2, тестовая частота 27 МГц



а) генератор сигнала подключен к фазе А

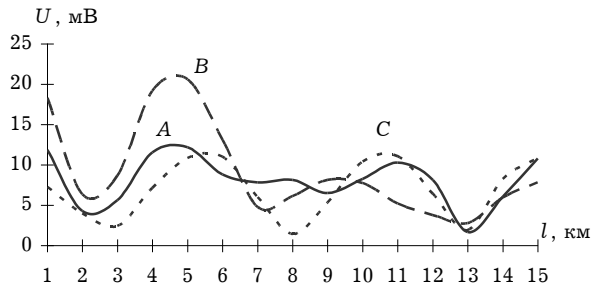


б) генератор сигнала подключен к фазе В

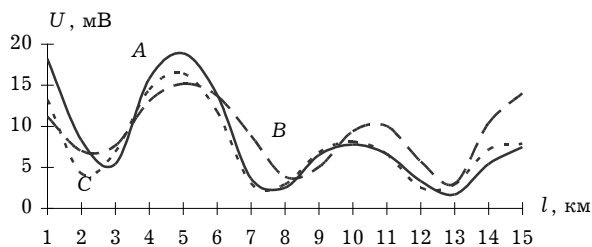


в) генератор сигнала подключен к фазе C
Рис. 6. Результаты моделирования по варианту 2, тестовая частота 40 МГц

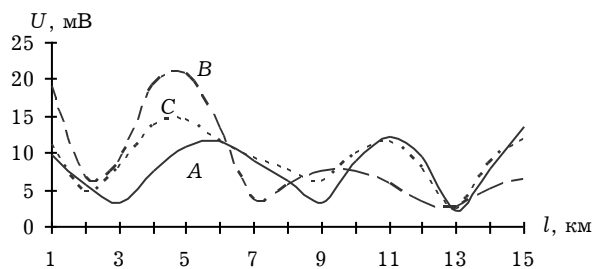
Наличие отпайки (рис. 7–9) на расстоянии 7–8 км приводит к значительному уменьшению уровня сигнала практически на всех фазах. Скорее всего, это происходит из-за локального увеличения емкости линий в месте отпайки. После отпайки уровень сигнала увеличивается и сохраняется достаточно высоким.



а) генератор сигнала подключен к фазе A



б) генератор сигнала подключен к фазе B

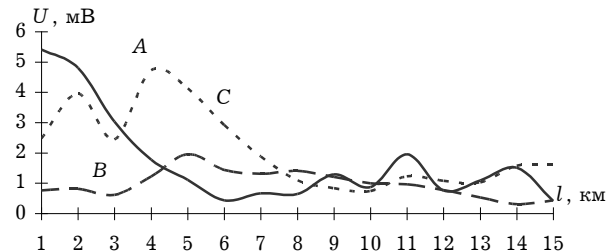


в) генератор сигнала подключен к фазе C

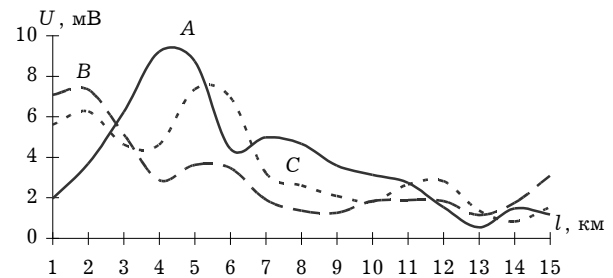
Рис. 7. Результаты моделирования по варианту 3, тестовая частота 9 МГц

На частоте 27 МГц (рис. 8) наличие отпайки вызывает общее снижение уровня сигнала, не компенсирующееся после прохождения отпайки. Иными словами, наличие отпайки эквивалентно снижению уровня напряжения генератора. Общий характер изменения уровня сигнала сохраняется.

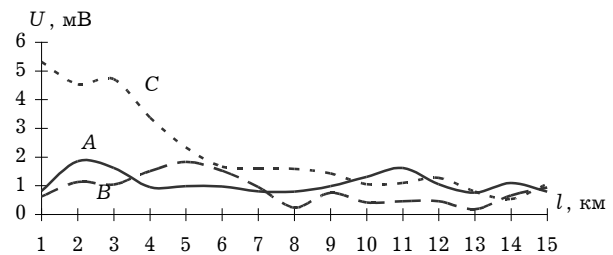
На частоте 40 МГц (рис. 9) наличие отпайки приводит к значительному снижению уровня сигнала. После отметки 7–8 км уровень практически нулевой. Вероятнее всего, это можно объяснить нарушением режима направляющей системы для этой частоты по пути распространения фаза–фаза.



а) генератор сигнала подключен к фазе A

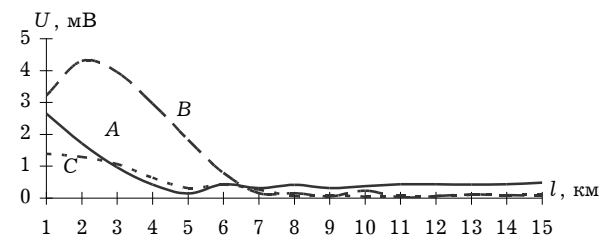


б) генератор сигнала подключен к фазе B

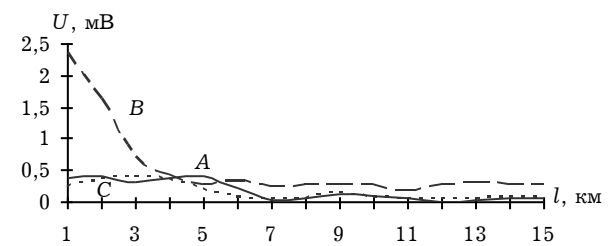


в) генератор сигнала подключен к фазе C

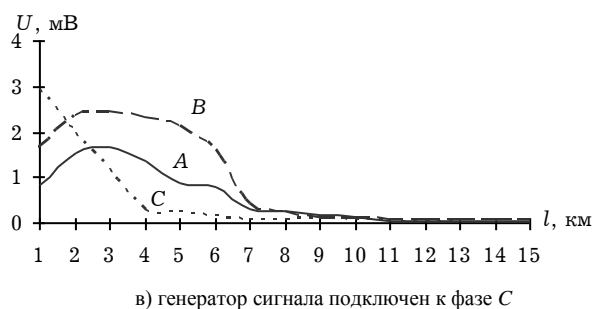
Рис. 8. Результаты моделирования по варианту 3, тестовая частота 27 МГц



а) генератор сигнала подключен к фазе A



б) генератор сигнала подключен к фазе B



в) генератор сигнала подключен к фазе C
Рис. 9. Результаты моделирования по варианту 3,
тестовая частота 40 МГц

Анализ приведенных выше графиков позволяет сделать вывод о возможности применения разных частот на разных стадиях обнаружения дефекта. Малое затухание сигнала на частотах вблизи 9 МГц (рис. 7.) и слабое влияние отпаяк и разветвлений на уровень сигнала на этой частоте позволяют использовать ее для обнаружения наличия дефектного изолятора на линии и предварительной оценки расстояния до него. Далее производится измерение на более высоких частотах, на которых имеется возможность определить более точно место расположения дефектного элемента по особенностям распространения сигнала. При наличии разветвлений и отпаяк измерение сигнала на частоте 40 МГц позволяет исключить влияние соседних присоединений, сигнал с которых претерпевает значительное затухание. На этой частоте также возможно

определение дефектной фазы, генерирующей сигнал, по соотношению между уровнями сигнала на различных проводах линии.

Во время полевых испытаний на всех трех точках приемником (микровольтметром MINLOCK) зафиксированы сигналы, идентичные по характеру ранее полученным при лабораторных испытаниях с максимальным уровнем в диапазоне частот 35–45 МГц.

Анализ результатов, приведенных в таблицах 1, 2, 3 и на рисунке 1, показывает, что имеется диапазон частот, который обладает наибольшей информативностью и дальностью распространения, который можно рекомендовать для определения места положения дефекта в сетях.

В результате анализа полученных сигналов на различных расстояниях от источника сигналов были выявлены частоты 9, 27, 40 МГц, которые могут являться определяющими при диагностировании дефектов на линии. На этих частотах АЧХ линия имеет локальные максимумы, которые не изменяются при измерении сигнала в различных точках на протяжении всей линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбаков Л. М., Шумелева Е. С., Соловьев Д. Г. Анализ повреждений распределительных сетей 10 кВ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 1. – С. 25–27.
2. Рыбаков Л. М. Методы и средства обеспечения работоспособности электрических распределительных сетей 10 кВ: науч. изд. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 421 с.