

**ВЛИЯНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ВЧ ТРАКТА  
ПО ЛЭП НА ХАРАКТЕРИСТИКУ ЗАТУХАНИЯ**

**ВПЛИВ НЕСПРАВНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ВЧ ТРАКТУ ПО ЛЕП  
НА ХАРАКТЕРИСТИКУ ЗГАСАННЯ**

**EFFECT OF FAULT ELEMENTS OF PLC SECTION  
ON CHARACTERISTIC OF ATTENUATION**

**Аннотация.** Рассматривается влияние неисправных элементов ВЧ тракта по ЛЭП на характеристику затухания.

**Анотація.** Розглядається вплив несправності елементів ВЧ тракту по ЛЕП на характеристику згасання.

**Summary.** Considers the influence of defective elements of PLC on characteristics of attenuation.

На современном этапе развития систем высокочастотной связи появилась проблема повышения уровня диагностики, решение которой позволило бы детализировать мониторинг элементов ВЧ тракта [1,2]. Основная сложность диагностирования состоит в том, что все элементы тракта являются пассивными и находятся под действием высокого напряжения. Это делает невозможным проведение непосредственной диагностики (установки датчиков и т.п.). Методы, которые сегодня применяются, позволяют определять состояние элементов ВЧ тракта по ЛЭП только после вывода их из работы [3,4]. Поэтому, для построения новой системы диагностики необходимо найти иные способы, позволяющие организовать постоянный мониторинг без необходимости отключения диагностируемых устройств.

В качестве основы для построения методов косвенной диагностики предлагается использование характеристики затухания ВЧ тракта. Выход из строя любого из элементов входящих в состав ВЧ тракта оказывает на характеристику влияние, а также для ее измерения нет необходимости вывода ЛЭП и ВЧ оборудования из работы. Кроме того, характеристика затухания достаточно информативна.

Суть предлагаемого метода диагностирования заключается в сравнении полученной частотной характеристики с опорной, которая снимается перед началом работы, и соответствует исправному состоянию тракта. Метод сравнения характеристики классически используется при построении диагностических систем [5], но для обеспечения максимально его эффективной работы необходимо учитывать специфику структуры высокочастотного тракта по ЛЭП.

Однако, в литературе не дана оценка возможности использования характеристики затухания ВЧ тракта при мониторинге состояния его элементов, что ставит задачу изучения степени их влияния в исправном и неисправном режимах работы. Целью данной статьи является анализ влияния неисправностей высокочастотного заградителя или фильтра присоединения на общую характеристику затухания ВЧ тракта.

Для более четкого понимания используемых в дальнейшем понятий напомним, что высокочастотная связь – это специфический тип связи, в которой в качестве среды для передачи сигналов используют линию электропередач (ЛЭП). Частотный диапазон работы систем высокочастотной связи находится в полосе от 16 кГц до 1МГц. Главным их достоинством является высокая надежность, обусловленная высокой надежностью и малым временем восстановления ЛЭП.

Используются эти системы только в сфере электроэнергетики, поэтому с их помощью осуществляют передачу нескольких специфических типов сигналов: релейной защиты и противоаварийной автоматики, телемеханики, а также голоса и других данных.

При использовании ЛЭП в качестве среды для передачи информации необходимо применять ряд специфических устройств, позволяющих организовать высокочастотный тракт и обеспечить нормальную работу систем ВЧ связи. Простейшая схема ВЧ тракта представлена на рис. 1.

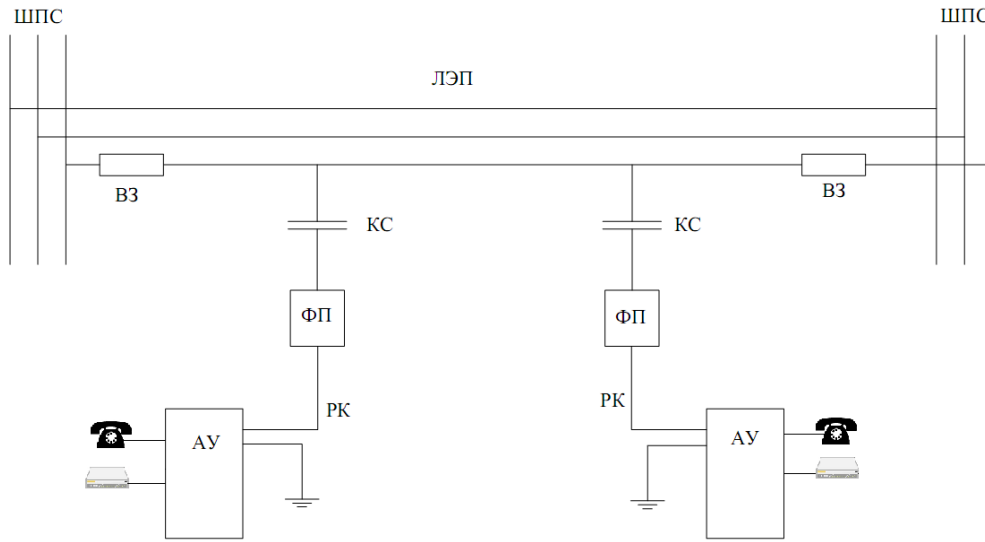


Рисунок 1 – Структура ВЧ тракта

Таким образом, основными элементами ВЧ тракта являются:

- аппаратура уплотнения (АУ) осуществляет передачу сигналов и данных конечного пользователя по высокочастотному тракту;
- радиочастотный кабель (РК) предназначен для передачи сигнала от аппаратуры уплотнения (АУ) к фильтру присоединения (ФП);
- фильтр присоединения (ФП) совместно с конденсатором связи (КС) является полосовым фильтром и обеспечивает выделение необходимой полосы частот. Дополнительно обеспечивает согласование по входному сопротивлению между ЛЭП и РК;
- конденсатор связи (КС) предназначен для отделения высокочастотной составляющей от сигнала промышленной частоты 50 Гц, и, как уже говорилось, совместно с ФП образует полосовой фильтр;
- высокочастотный заградитель (ВЗ) является элементом системы обработки и применяется для дополнительного ослабления сигнала высокой частоты в сторону подстанции, а также не допускает шунтирования сигнала на землю;
- линия электропередач (ЛЭП) является средой для передачи высокочастотного сигнала;
- ШПС – шины подстанции.

Из приведенных сведений понятно, что непосредственный доступ и проведение экспериментов на реальном ВЧ тракте является затруднительным, поэтому для исследования использовалась его математическая модель. Она была построена на основе методов, описанных в [8] и с использованием средств среды MatLab. Схема, описывающая структуру модели, приведена на рис. 2.

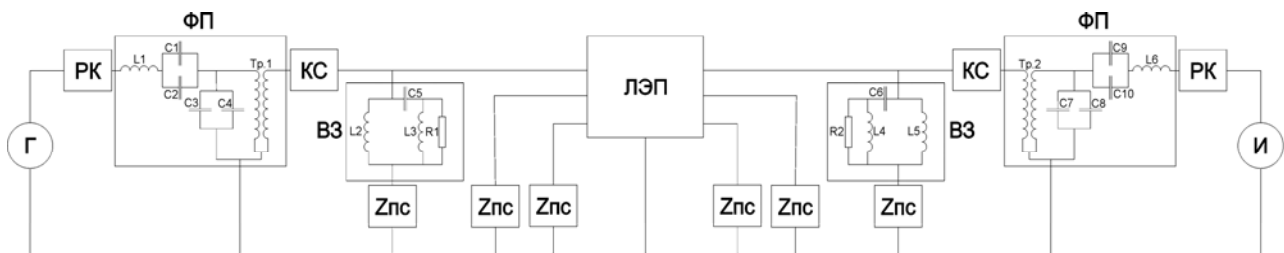


Рисунок 2 – Схема модели ВЧ тракта

Показанная на рис. 2 схема аналогична представленной на рис. 1. Главное отличие заключается в представлении схемы в удобном для анализа процесса распространения сигнала виде. Все элементы ВЧ тракта заменены функциональными блоками. Также дополнительно раскрыты функциональные схемы ФП и ВЗ, которые использовались при моделировании. Это будет полезным при описании появления их неисправностей.

Вместо полуккомплектов АУ используется генератор (Г) и измеритель (И), что позволяет в наглядной форме продемонстрировать направление передачи измерительного сигнала.

Особое внимание следует уделить блокам с названием  $Z_{ПС}$ . Они замещают в данной схеме шины подстанции и позволяют учитывать эквивалентное сопротивление ПС в различных режимах работы ЛЭП. Всего таких режимов три. Первый из них, когда линия заземлена с двух сторон (КЗ). Для его моделирования эквивалентное сопротивление подстанции приравнивается к нулю ( $Z_{ПС} = 0$ ). Второй режим, когда разъединители соединяющие ЛЭП с ПС разомкнуты, но заземляющие ножи не подключены (ХХ). В этом случае  $Z_{ПС} = \infty$ . Ну и последний режим работы, это когда линия нагружена на подстанции с двух сторон (ПС). Для отражения такой ситуации  $Z_{ПС}$  была приравнена эквивалентной емкости подстанции.

Следует отметить, что при моделировании для наглядной демонстрации емкостная составляющая полного сопротивления подстанции была принята 300 пФ. Однако, вероятность появления подобной ситуации достаточно велика. Ведь согласно приводимых в специализированной литературе данных [7] эквивалентная емкость подстанции может находиться в пределах от десятков пикофард до нескольких нанофард. Все зависит от типа и количества используемого оборудования. При этом, необходимая для появления резонанса на рабочих частотах аппаратуры ВЧ связи (16...1000 кГц) емкость составляет от 0,4 пФ до 125 нФ (при условии использования силовой катушки индуктивности ВЗ номиналом 0,5 мГн).

Перед моделированием неисправностей ВЗ и ФП необходимо было получить эталонные характеристики ВЧ тракта. Для этого была использована показанная на рис.2 модель поочередно работающая во всех трех режимах. В результате были получены характеристики затухания ВЧ тракта для всего рабочего диапазона частот (рис. 3).

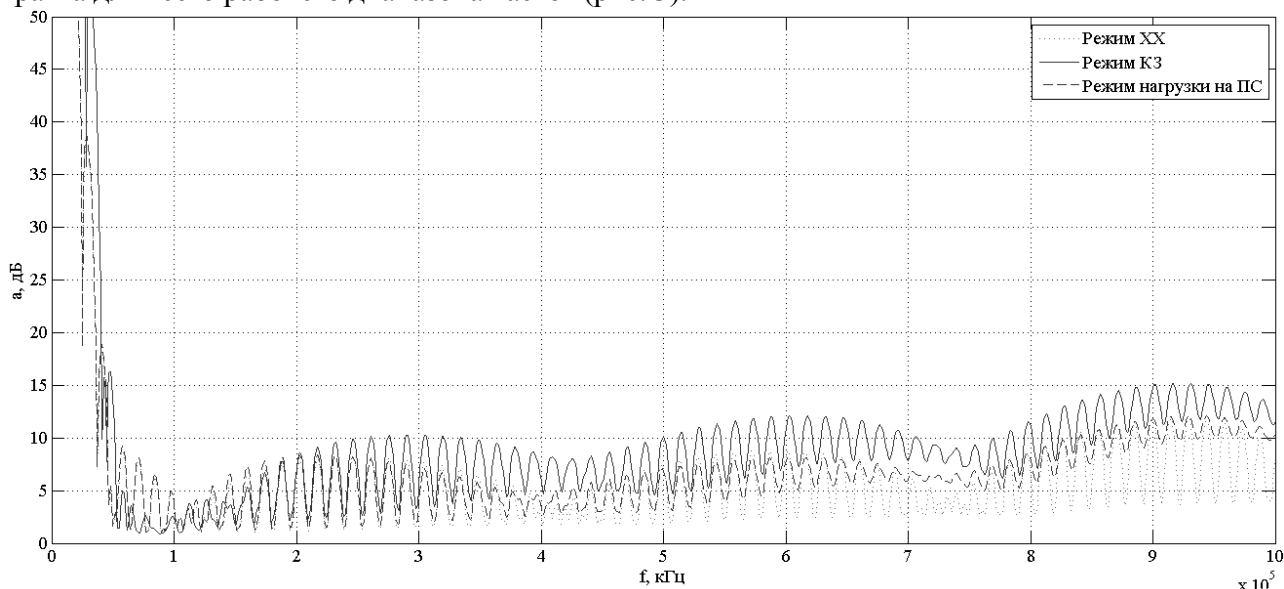


Рисунок 3 – Характеристики затухания ВЧ тракта в исправном состоянии

На рисунке видно, что минимальный уровень затухания наблюдается в режиме ХХ. Особенно заметно это на высоких частотах. Этот факт объясняется полным отсутствием шунтирования, что обеспечивается большим номиналом сопротивления разомкнутых разъединителей. Максимальный прирост затухания наблюдается в режиме работы КЗ. ЛЭП в этом режиме заземляется за ВЗ (обычно при выполнении работ на линии), поэтому высокочастотный сигнал шунтируется сопротивлением заградителя.

Теперь, имея характеристики исправного тракта, необходимо получить аналогичные для случая с неисправностью одного из элементов, входящих в его состав.

Первым для анализа неисправности был выбран высокочастотный заградитель. Его конструкцию можно условно разделить на три части (см. рис. 2): реактор (силовая катушка индуктивности L2 и L5), устройство защиты (на рисунке не показано) и элемент настройки (C5, L3, R1 и C6, L4, R2). На практике, силовая катушка, предназначенная для протекания тока высокого номинала, оказывается очень надежной, а количество неисправностей связанных с ней минимально. Тоже можно сказать и об устройстве защиты. Намного чаще выходит из строя элемент настройки высокочастотного заградителя. Причиной этого является высоковольтный конденсатор (C5 и C6), работающий под влиянием высокого номинала напряжения.

Более детально появление такого рода неисправностей, а также методы борьбы с ними описывается в специальной литературе [3,4,5] и в данной статье рассматриваться не будут.

Проанализируем изменения, связанные с возникновением данной неисправности. Пробой конденсатора под действием высокого напряжения может привести либо к его полному разрушению из-за высокого номинала тока, либо к разрушению других элементов внутри ЭН, так как они окажутся под высоким напряжением. В любом из этих случаев разрушения будут настолько значительны, что электрическое соединение элемента настройки с реактором будет разорвано. Такое событие будет эквивалентно замене C5 или C6 бесконечно большим сопротивлением, что соответствует разрыву.

Для анализа влияния появления такой неисправности на характеристику всего тракта было проведено дополнительное моделирование. При этом используемая схема ВЧ тракта (см. рис. 2) была модифицирована, а именно, из модели были исключены C5, L3, R1, что соответствует отсутствию связи ЭН с реактором из-за разрушения конденсатора. Таким образом, была создана ситуация появления неисправности высокочастотного заградителя, располагающегося на ближнем конце относительно генератора сигнала. В результате были получены характеристики, приведенные на рис. 4. Рассматривая данный рисунок, в первую очередь следует обратить внимание на характер затухания при работе ВЛ в режиме нагрузки на ПС. Именно в данном случае, описанная неисправность будет проявляться максимально явно. Причиной этого является тот факт, что реактор высокочастотного заградителя – это катушка индуктивности, поэтому при выходе из строя ЭН частотная характеристика сопротивления полностью обеспечивается реактивной составляющей. В режиме нагрузки на ПС ВЗ совместно с эквивалентным сопротивлением подстанции образует последовательный колебательный контур, что приводит к резкому повышению затухания ВЧ тракта на частотах резонанса. Возникновение такой неисправности в реальном тракте приводит к нестабильной работе или полному отказу системы ВЧ связи, рабочие частоты которой располагаются в районе резонансных.

Характеристики двух остальных режимов менее информативны. Кривая, полученная для режима «ХХ», полностью совпадает с аналогичной для исправного тракта (см. рис. 2). Причиной этого является высокий уровень сопротивления, создаваемый разъединителями. Изменение характеристики затухания для режима «КЗ» незначительное. Причиной этого является АЧХ индуктивности, которой в нашем случае представлен ВЗ. В связи с тем, что рассматриваемые нами частоты достаточно высоки, индуктивная составляющая полного сопротивления реактора обеспечивает высокое сопротивление, снижая тем самым эффект шунтирования сигнала.

Таким образом, описанная неисправность высокочастотного заградителя повлекла изменение частотной характеристики всего ВЧ тракта в двух режимах его работы. При этом, в режиме «ПС» это изменение достаточно значительное и характерное для того, чтобы использовать его для диагностики появления подобной ситуации. Проявления в режиме «КЗ» менее заметны, однако при более детальном исследовании они также могут дать дополнительную возможность для диагностирования.

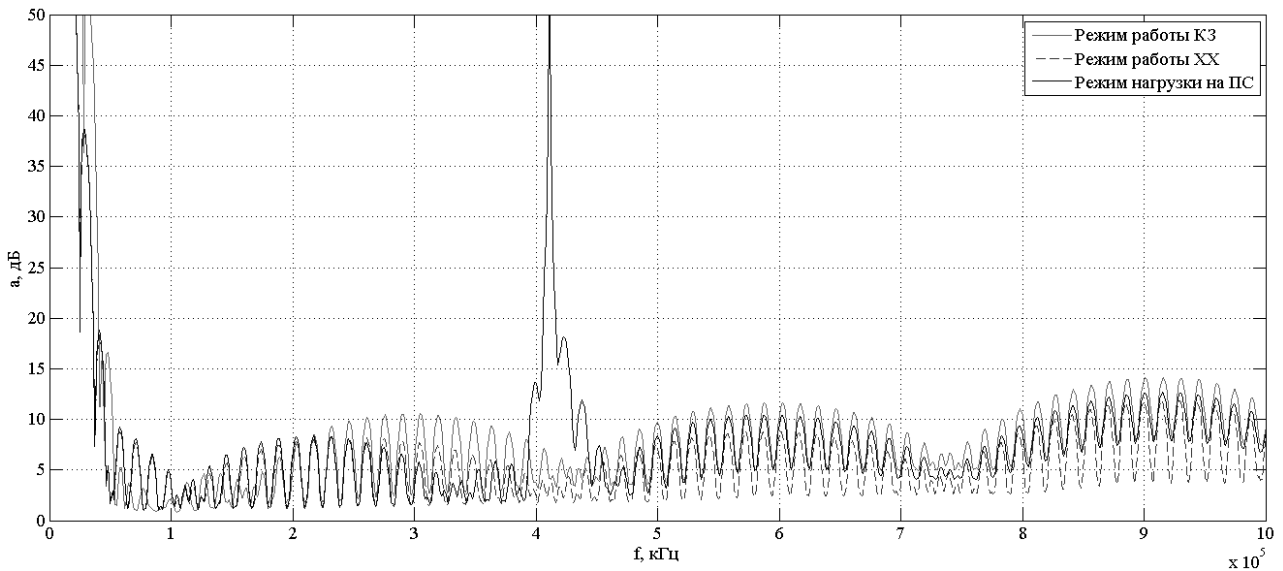


Рисунок 4 – Характеристика ВЧ тракта с неисправным ВЗ

Вторым устройством, влияние которого оценивалось, является фильтр присоединения. Его структурная схема раскрыта на рис. 2. Основными составными частями его является трансформатор (Тр.1 и Тр.2), а также схема настройки (L1, C1 ... C4 и L6, C7 ... C10). В качестве моделируемой неисправности выбран выход из строя конденсаторов (например, C3, C4 или C7, C8), так как она является наиболее распространенной. Причиной ее возникновения является появление высокого номинала напряжения, которое может возникнуть как в результате наводок на РК, так и при частичном пробое КС. Моделирование такой ситуации выполнялось путем исключения из состава схемы (см. рис. 2) C3 и C4, что соответствует их разрушению. Характеристики, полученные для этого случая, приведены на рис. 5. Из рисунка видно, что затухание повысилось для всех трех режимов. Дополнительно заметно изменение характера кривых. Причиной этого является возникшая расстройка фильтра. Появление такой неисправности при работе реального ВЧ тракта может привести к значительному ухудшению качества связи между полуккомплектами аппаратуры, что в свою очередь может приводить, например, к снижению скорости передачи данных или ухудшению слышимости в голосовом канале.

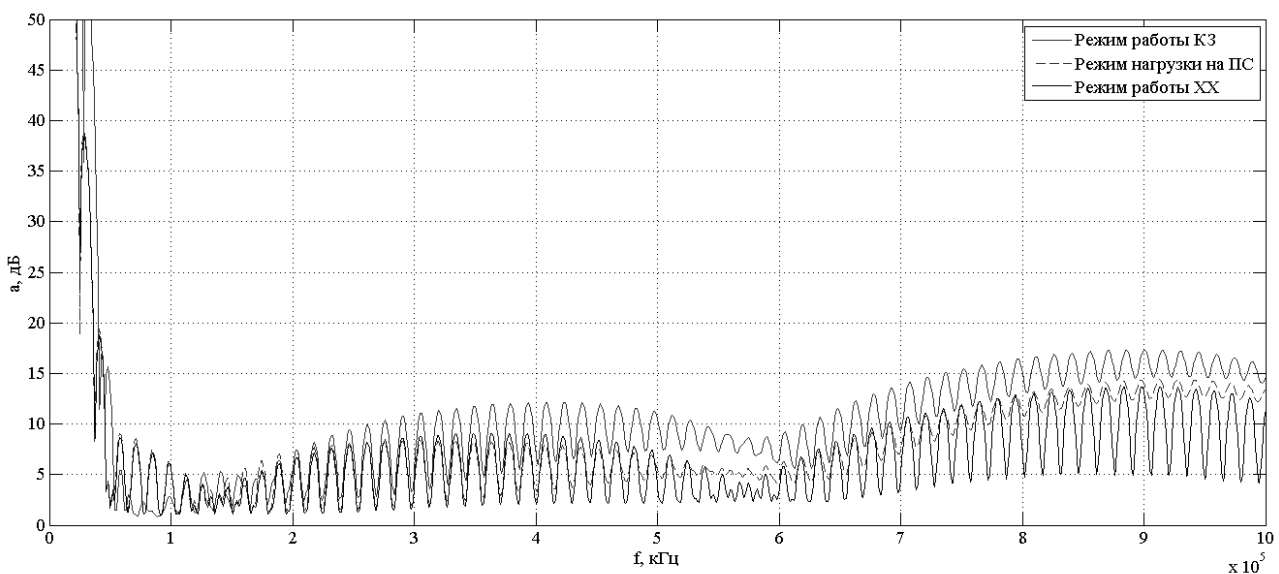


Рисунок 5 – Характеристика ВЧ тракта с неисправным ФП

Отсутствие ярко выраженной характерности приведенных на рис. 5 кривых усложняет их использование для диагностики, однако не исключает его.

В заключение можно констатировать следующее: в статье был проведен анализ влияния неисправностей высокочастотного заградителя и фильтра присоединения на общую характеристику затухания ВЧ тракта. Было установлено, что это влияние значительно и может быть использовано при разработке методов диагностирования.

#### **Литература**

1. Романов С. Построение систем мониторинга и управления сетью каналов ВЧ связи по ЛЭП/ Романов С. – 1999. – 7 с. – Режим доступа: [http://romanovsergei.ro.funpic.org/Pub/From\\_Site/Article2.pdf](http://romanovsergei.ro.funpic.org/Pub/From_Site/Article2.pdf)
2. Романов С. Мониторинг систем ВЧ связи / Романов С. – 2005. – 12 с. – Режим доступа: [http://romanovsergei.ro.funpic.org/Pub/08\\_Monitoring\\_Pages\\_265\\_276\\_from\\_DigitalFull\\_0.rar](http://romanovsergei.ro.funpic.org/Pub/08_Monitoring_Pages_265_276_from_DigitalFull_0.rar)
3. Микуцкий Г.В. Высокочастотная связь по линиям электропередачи/ Г.В. Микуцкий, В.С. Скитальцев. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 448 с.
4. Микуцкий Г.В. Устройства обработки и присоединения высокочастотных каналов/ Микуцкий Г.В. – [2-е изд.]. – М.: Энергия, 1974. – 200 с.
5. Бигер И.А. Техническая диагностика/ Бигер И.А. – М.:Машиностроение, 1978. – 240 с.
6. Микуцкий Г.В. Высокочастотная связь по линиям электропередачи/ Г.В. Микуцкий, В.С. Скитальцев. – [2-е изд.]. – М.: Энергия, 1977. – 440 с.
7. Руководящие указания по выбору частот высокочастотных каналов по линиям электропередачи 35, 110, 220, 330, 500 и 750 кВ./ Министерство энергетики и электрификации СССР, ГЛАВНИИПРОЕКТ, ЦДУ УЭС СССР, Служба передового опыта эксплуатации ОРГРЭС. – М., 1977. – 188 с.
8. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения/ [Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П. и др.]. – М.: Энергия, 1973. – 272 с.