МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОРУ СХЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ ПО ЛИНИЯМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 35–750 кВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

МУ 34-70-186-86

РД 34.48.156-89

СПО
СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1989

gost.e-ecolog.ru

Р А З Р А Б О Т А Н О Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроэнергетики (ВНИИЭ)

И С П О Л Н И Т Е Л Ь Ю.П.ШКАРИН (лаборатория ВЧ связи)

С О Г Л А С О В А Н О с Главэнерго 09.I2.86 г.

Заместитель начальника И.И.БАТЮК

У Т В Е Р Ж Д Е Н О Главным научно-техническим управлением энергетики и электрификации
I0.I2.86 г.

Заместитель начальника К.М.АНТИПОВ

УДК 621.315.1:621.372.512.23

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОРУ СХЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ ПО ЛИНИЯМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 35-750 кВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

МУ 34-70-186-86

Срок действия установлен
с 01.01.88 г.
до 01.01.98 г.

ВВЕДЕНИЕ

Высокочастотные (ВЧ) каналы по воздушным линиям электропередачи (ВЛ) являются одним из основных видов каналов связи в энергосистемах Советского Союза. Более половины общего числа каналов телефонной связи и телемеханики, эксплуатирующиеся в энергетике, и подавляющее большинство каналов релейной защиты и противоаварийной автоматики, к которым предъявляются наибольшие требования по надежности, являются каналами ВЧ связи по ВЛ.

Основным элементом ВЧ каналов по ВЛ является ВЧ тракт, параметры которого в значительной степени определяют параметры самого канала связи.

Расчет параметров ВЧ трактов можно производить по точным методам с помощью больших ЭВМ серии ЕС и по упрощенным методам с помощью ручного счета, расчета на небольших настольных ЭВМ, и, наконец, с помощью графиков и номограмм.

Точные методы расчета параметров ВЧ трактов, модальных параметров ВЛ и ВЧ помех от короны на выходе ВЧ трактов по ВЛ, проходящих над однородным грунтом, которые используют для описания волновых процессов в ВЛ матричную алгебру, реализованы во ВНИИЭ в виде программ "Тракт" и "*NOISE*" для ЭВМ ЕС 1033 и ЕС 1045. Программы написаны на языке Фортран-IУ в операционной системе ОС . Для расчета параметров трактов по ВЛ, проходящих над грунтом с двухслойной структурой, в НИИПТ разработана программа "Тракт-85", написанная на языке ПЛ-I ОС ЕЭС ЭВМ. Каждая из программ требует для работы 350 К байт оперативной памяти. Общие сведения о программах приведены в приложении I.

Упрощенные расчеты параметров ВЧ трактов и уровней ВЧ помех от короны производились до настоящего времени на основании "Руководящих указаний по расчету параметров и выбору схем высокочастотных трактов по линиям электропередачи" (М.: Энергия, 1975) и "Руководящих указаний по выбору частот высокочастотных каналов по линиям электропередачи 35, 110, 220, 330, 500 и 750 кВ" (М.: СПО ОРГРЭС, 1977).

Со времени выхода этих документов появились новые схемы присоединения к ВЛ (внутрифазные и внутритросовые тракты), расширился диапазон рабочих частот каналов по ВЛ, проведены новые теоретические и экспериментальные исследования параметров ВЧ трактов и ВЧ помех от короны. Все это вызвало необходимость пересмотра действующих Руководящих указаний (РУ).

В настоящие Методические указания (МУ) по сравнению с предыдущим изданием введены следующие добавления и изменения:

расширена область применения МУ на диапазон частот от 30 до 1000 кГц и на линии напряжением до 750 кВ;

учтены новые типовые конструкции опор ВЛ 35-750 кВ;

учтено влияние на модальные параметры ВЛ емкости проводов и тросов на опору и даны рекомендации по расчету этих емкостей;

даны рекомендации по расчету модальных параметров ВЛ с учетом слоистой структуры грунта;

даны рекомендации по расчету параметров новых видов трактов - по одиночным грозозащитным тросам, внутрифазных трактов по изо-

лированным составляющим расщепленных фаз; внутритросовых трактов по изолированным составляющим расщепленных тросов; по ВЛ с кабельными вставками;

пересмотрен и значительно расширен раздел по определению помех в каналах ВЧ связи по ВЛ;

введен новый раздел по влиянию на затухание ВЧ трактов повреждений на ВЛ;

расширен раздел по определению влияний между различными ВЧ каналами.

Все выражения упрощенных методов расчетов получены из соответствующих строгих матричных уравнений при ряде допущений, что позволяет получить для наиболее распространенных в практике случаев организации трактов достаточно простые расчетные формулы.

Методические указания предназначены для использования работниками проектных, наладочных, эксплуатационных и научно-исследовательских организаций, занимающихся вопросами передачи информации по каналам ВЧ связи по ВЛ. Приведенные в МУ сведения позволяют правильно выбрать схему присоединения к фазам и тросам ВЛ; произвести расчет (как вручную, так и с помощью настольных программируемых и непрограммируемых ЭВМ) параметров ВЧ тракта с выбранной схемой присоединения; построить с использованием приведенных выражений расчетные графики и номограммы для быстрого определения параметров ВЧ тракта в некоторых частных случаях; производить анализ влияния тех или иных причин на полученные значения параметров.

С выходом настоящих Методических указаний выпущенные в 1975 г. РУ считать утратившими силу.

I. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УПРОЩЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ И РАСЧЕТОВ НА БОЛЬШИХ ЭВМ ПО ТОЧНЫМ МЕТОДАМ

I.I. Упрощенные методы расчета параметров ВЧ трактов, влияний между ВЧ каналами и уровней ВЧ помех от короны могут применяться в основном в тех случаях, когда слоистая структура грунта не оказывает заметного влияния на модальные параметры ВЛ, т.е. выполняется условие

$$h_{сл} > 15{,}9\sqrt{\rho_{сл}/f}\,, \qquad (I.I)$$

где $h_{сл}$ – глубина верхнего слоя грунта, м;
$\rho_{сл}$ – удельное сопротивление верхнего слоя грунта, Ом·м;
f – частота, кГц.

I.2. При выполнении (I.I) упрощенные методы расчета могут быть использованы при решении следующих задач:

расчет параметров ВЧ трактов по фазам и грозозащитным тросам нетранспонированных и транспонированных ВЛ 37-750 кВ при условии, что схема транспозиции фаз и тросов стандартная: две транспозиции фаз с длинами шагов транспозиции, отличающихся один от другого не более чем на ±10%, и транспозиция тросов (для ВЛ напряжением 500 кВ и выше с двумя тросами) – каждые I5-20 км;

расчет параметров ВЧ трактов с ответвлениями от ВЛ, обходами промежуточных подстанций и кабельными вставками при условии, что ВЛ может быть принята в расчетах симметричной или при условии, что линия нетранспонирована и присоединение к линии выполнено по оптимальной схеме. При этом число ответвлений и (или) обходов и (или) кабельных вставок в ВЛ не должно превышать двух при тракте с присоединением фаза-земля или четырех при тракте с присоединением фаза-фаза;

определение взаимных влияний между ВЧ каналами, если эти каналы организованы по одной и той же ВЛ или по разным ВЛ, заходящим на одну подстанцию, или по разным ВЛ, не имеющим других связей (для высокой частоты), кроме прохождения в общем коридоре на одном из участков трассы.

I.3. В случае невыполнения (I.I) упрощенные методы могут применяться при:

расчете параметров ВЧ трактов по изолированным составляющим расщепленных фаз и тросов;

расчете параметров ВЧ трактов по нетранспонированным ВЛ с присоединением по оптимальным схемам.

Во всех остальных случаях расчет по

упрощенным методам может использоваться лишь для получения оценочных результатов и необходимо проводить расчеты на ЭВМ по специально разработанным программам. При этом расчет параметров ВЧ трактов по ВЛ 500 кВ и выше, а при определении переходных затуханий для внутрифазных трактов и для ВЛ 330 кВ должен производиться с учетом изменения собственных и взаимных емкостей проводов ВЛ из-за влияния опоры. Это влияние определяется с помощью специальной программы ЕОП-86, разработанной НИИПТ. Сведения об этой программе приведены в приложении I.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

2.I. Высокочастотным трактом по ВЛ называется составной четырехполюсник, в который входят заключенные между ВЧ входом и ВЧ выходом аппаратуры уплотнения и связанные единой схемой линии электропередачи (воздушные, кабельные), элементы ВЧ обработки (заградители, устройства присоединения, ВЧ кабели) и подстанции (рис.2.I)

2.2. Линейным трактом называется составной четырехполюсник, в который входит часть

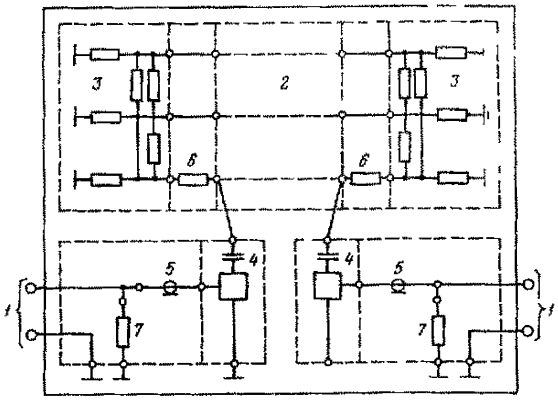


Рис.2.I. Схема высокочастотного тракта

I - входные и выходные зажимы четырехполюсника; 2,3 - многополюсники, входящие в схему тракта (соответственно трехпроводная ВЛ и входное сопротивление подстанции); 4,5 - четырехполюсники, входящие в схему тракта (соответственно фильтр присоединения с конденсатором связи и ВЧ кабель), 6,7 - двухполюсники, входящие в схему тракта (соответственно ВЧ заградитель и параллельно включенная аппаратура уплотнения)

ВЧ тракта, заключенная между точками подключения устройств присоединения к проводам (фазам или тросам) ВЛ.

2.3* Методы расчетов параметров ВЧ трактов и помех от короны базируются на модальной теории распространения электрических сигналов по многопроводным линиям. Согласно этой теории распространение волн напряжения и тока сигнала по n-проводной линии можно рассматривать как распространение суммы волн независимых модальных составляющих (мод) напряжения и тока, число которых равно числу проводов.

Модальные параметры n-проводной линии описываются комплексными диагональными матрицами n-го порядка коэффициентов распространения γ и волновых сопротивлений Z_{BM} и комплексной квадратной матрицей преобразования напряжений модальных составляющих в напряжения проводов λ.

Каждая S-я мода характеризуется коэффициентом распространения $\gamma_S = \alpha_S + j\beta_S$ и волновым сопротивлением Z_{BMS} (S-е элементы матриц γ и Z_{BM}), а также n значениями соотношений модальных напряжений в проводах - λ_{1S}, λ_{2S}, ..., λ_{nS} (S-й столбец матрицы λ).

Иногда при описании модальных параметров ВЛ вместо матрицы λ используют матрицу δ преобразования модальных токов в токи проводов. Матрицы λ и δ связаны соотношением:

$$\delta = (\lambda^{-1})^t D, \qquad (2.I)$$

где D - нормирующая диагональная матрица. При принятом в Методических указаниях принци-

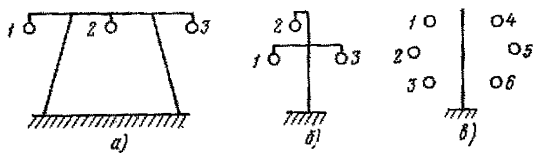
*Здесь и далее к пунктам, отмеченным звездочкой, имеются пояснения в приложении 7.

ле нормализации матриц λ и δ матрица D составляется из элементов первой строки матрицы $(\lambda^{-1})^{t}$. Знак ^{t} означает транспонирование матрицы.

2.4*. Анализ и измерения показывают, что в воздушных n -проводных линиях электропередачи имеются $(n-1)$ междупроводные моды и одна мода все провода-земля. Коэффициент затухания междупроводных мод обуславливается потерями энергии в проводах и относительно небольшими потерями в земле, а фазовый коэффициент этих мод отличается от фазового коэффициента в линии без потерь на 1-3%.

Коэффициент затухания моды все провода-земля обуславливается в основном потерями в земле и имеет много большее значение, чем для междупроводных мод. Фазовый коэффициент этой моды отличается от фазового коэффициента в линии без потерь на 5-15%.

Для основных типов расположения проводов на ВЛ, приведенных на рис.2.2,*а*- 2.2,*б*, существуют следующие междуфазные модальные составляющие.



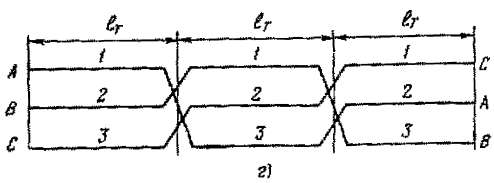


Рис.2.2. Принятая нумерация проводов одноцепной ВЛ с горизонтальным (*а*), треугольным (*б*) расположением проводов и двухцепной ВЛ (*в*). Стандартная схема транспозиции (*г*)

Линия с горизонтальным расположением проводов:

мода I фаза средняя - две фазы крайних;
мода 2 фаза - фаза крайние.

Линия с треугольным расположением проводов:

мода I фаза верхняя - две фазы нижних;
мода 2 фаза - фаза нижние с участием верхней фазы.

Двухцепная линия с вертикальным расположением проводов:

моды I и 2 фаза верхняя - фаза средняя с участием нижней фазы;
моды 3 и 4 фаза верхняя - фазы средняя и нижняя;
мода 5 цепь-цепь.

Различие между модами I и 2 (3 и 4) заключается в направлении токов в соответствующих фазах разных цепей. Для мод I и 3 они разные, а для мод 2 и 4 одинаковые.

Эскизы, показывающие направления токов в проводах ВЛ для разных модальных составляющих, приведены на рис.2.3. Более подробно - см.приложение 2.

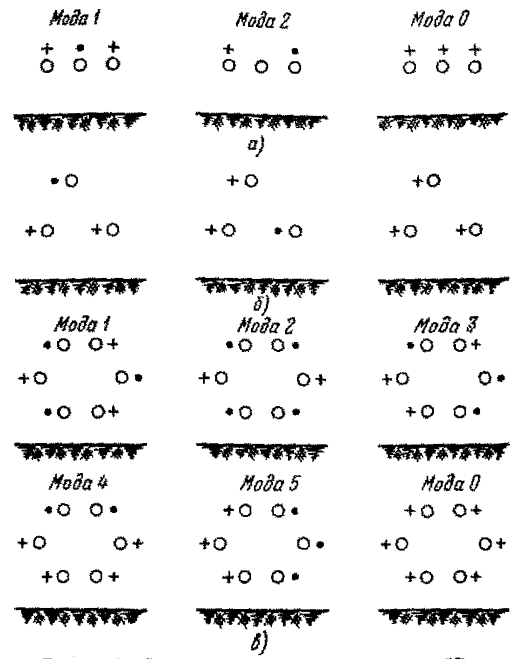


Рис.2.3. Направления токов в фазах ВЛ для модальных составляющих:

а, *б* и *в* - соответственно для ВЛ с горизонтальным, треугольным и вертикальным расположением фаз

2.5*. Напряжения проводов относительно земли в начале линии, определяемые для заданной схемы присоединения передатчика и условий заземления нерабочих проводов (концевые условия), раздагаются на модальные составляющие согласно системе уравнений, записанных в

матричной форме, как

$$U_{мн} = \lambda^{-1} U_н \ , \qquad (2.2)$$

где $U_{мн}$ – столбцевая матрица напряжений модальных составляющих в начале линии;

$U_н$ – столбцевая матрица n-го порядка напряжений проводов относительно земли в начале линии.

По однородному участку линии волны напряжений каждой из модальных составляющих распространяются независимо одна от другой. Перераспределение напряжений между модами происходит только в местах нарушения однородности линии (транспозиция, ответвление, конец ВЛ и т.д.). Переход от напряжений модальных составляющих к напряжениям проводов в конце однородного участка линии (индекс к) осуществляется с помощью уравнения, обратного (2.2)

$$U_к = \lambda U_{мк} \ . \qquad (2.3)$$

2.6*. Для ВЧ связи при длине линии более 20 км наибольшее практическое значение имеют волны междупроводных мод. Эти волны, распространяясь вдоль ВЛ, налагаются одна на другую с соответствующими изменениями амплитуды и смещениями по фазе, преломляются и отражаются (в том числе и переходят одна в другую) в местах нарушения однородности линии и определяют значение затухания линейного тракта и неравномерность его изменения при изменении частоты.

Так, если длина нетранспонированной линии с горизонтальным расположением проводов ℓ и рабочая частота f таковы, что сдвиг фаз между напряжениями модальных составляющих 1 и 2 в конце линии, обусловленный разницей в их скоростях распространения V_1 и V_2, равен π, т.е. если

$$f = \frac{V_1 V_2}{2(V_1 - V_2)\ell} \ , \qquad (2.4)$$

то при присоединении к ВЛ по схеме крайняя фаза-земля наблюдается резкое увеличение затухания линейного тракта (полюс затухания) и неравномерности затухания, обусловленного многократными отражениями волн. При переходе на присоединение по схеме средняя фаза – земля мода 2 в передаче сигнала не участвует и затухание линейного тракта и неравномерность этого затухания существенно уменьшается. Аналогичные явления в той или иной степени наблюдаются и для ВЛ с другим расположением проводов и для транспонированных ВЛ.

2.7.* Упрощенные методы расчета параметров ВЧ тракта базируются на основном допущении, что волны всех модальных составляющих, отраженные от места нарушения однородности ВЛ или КЛ, затухают на длине однородного участка. Кроме этого допущения, обычно принимают еще два: волны напряжения и тока модальной составляющей все провода-земля полностью затухают на длине однородного участка линии; нерабочие провода линии по концам линейного тракта (т.е. те провода, к которым не осуществляется присоединение) либо заземлены (режим КЗ), либо изолированы (режим ХХ). При этом слоистая структура грунта не учитывается и удельное сопротивление грунта принимается равным удельному сопротивлению верхнего слоя.

2.8*. Основное допущение (п.2.7) означает пренебрежение влиянием на параметры тракта волн, многократно отраженных от мест нарушения однородности линий электропередачи. Это влияние сказывается в периодическом изменении затухания и входного сопротивления линейного тракта относительно среднего значения, как показано на рис.2.4. При необходимости (короткие линии) влияние многократно отраженных волн учитывается отдельно.

2.9. Высокочастотный тракт характеризуется собственным затуханием, характеристическим сопротивлением, уровнем и характером ВЧ помех на его выходе.

2.10*. Характеристическим сопротивлением линейного тракта (ЛТ) $Z_{лт}$ называется входное сопротивление ЛТ, определенное для данной схемы присоединения без учета отраженных от противоположного конца линии волн. Если сопротивление нагрузки ЛТ выбрать равным его характеристическому сопротивлению, то расчетное затухание тракта будет близко к минимальному (собственному) затуханию.

2.11*. Расчетное собственное затухание линейного тракта для линии длиной ℓ определяется по формуле

$$a_{лт} = \alpha_s \ell + a_{доп} \ , \qquad (2.5)$$

где α_S – коэффициент затухания основной для рассматриваемого тракта моды,

$a_{доп}$ – дополнительное затухание, обусловленное многомодовым характером распространения волн по ВЛ.

2.13. Помехи на выходе ВЧ тракта, обусловленные наличием на ВЛ высокого напряжения промышленной частоты, разделяются на помехи от короны на проводах ВЛ, помехи от частичных разрядов в изоляции аппаратов высокого напряжения и линейных изоляторов, коммута-

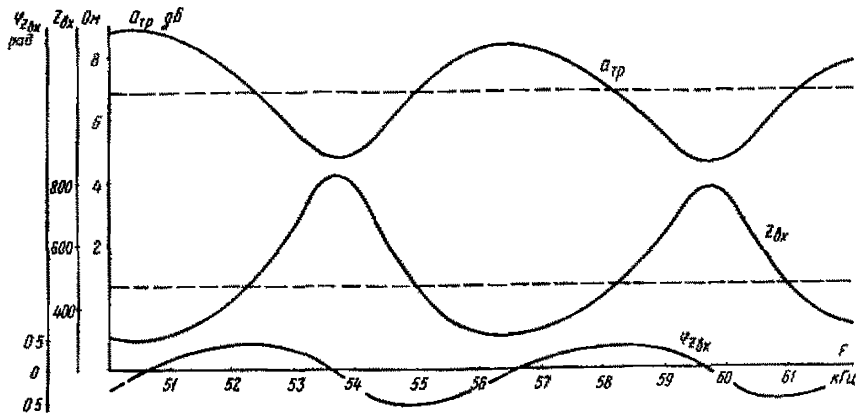


Рис.2.4. Зависимость затухания и входного сопротивления линейного тракта по нетранспонированной линии длиной 25 км от частоты.
——— с учетом отраженных волн; — — — без учета отраженных волн

Значение $a_{доп}$ в общем случае является сложной функцией частоты. При допущении, что все модальные составляющие, кроме основной, возбужденные в начале ВЛ или появившиеся в местах нарушения однородности линии не воспринимаются приемником, дополнительное затухание называется концевым затуханием и обозначается $a_к$

2.12. Расчетное затухание ВЧ тракта определяется как сумма расчетных значений всех элементов, входящих в схему тракта

$$a_{тр} = \sum_{i=1}^{K} a_i , \qquad (2.6)$$

где K – общее число элементов, входящих в ВЧ тракт;

a_i – затухание i -го элемента тракта.

Максимальное затухание ВЧ тракта определяются по формуле

$$a_{тр\ макс} = a_{тр} + \Delta a^{+}_{отр\ макс} , \qquad (2.7)$$

где $\Delta a^{+}_{отр\ макс}$ – максимальное увеличение затухания, обусловленное влиянием многократно отраженных волн в рассматриваемом диапазоне частот.

ционные помехи от работы выключателей высокого напряжения и разъединителей и помехи от дуги короткого замыкания.

На ВЛ переменного тока, заходящих на преобразовательные подстанции постоянного тока, кроме указанных помех, возможно появление помех от преобразователей. Однако при наличии на этих ВЛ специальных высокочастотных помехоподавляющих фильтров помехи этого типа можно не учитывать.

2.14. Помехи от короны в полосе частот Δf не более 30 кГц являются флуктуационными помехами (гауссового типа), у которых среднеквадратическое значение напряжения является функцией фазы напряжения промышленной частоты. Зависимость текущего среднеквадратического значения напряжения помех от фазы напряжения промышленной частоты $U_{ПОМ}(\varphi)$ имеет при разных схемах присоединения к ВЛ один или более всплесков в течение одного периода промышленной частоты. Каждый из всплесков обуславливается короной на проводах (фазах или тросах) вблизи положительного максимума напряженности электрического поля на поверхности этих проводов, если эта на-

пряженность достаточна для появления стримерных разрядов.

На рис.2.5 приведены примеры обобщенных зависимостей $U_{пом}(\varphi)$ для разных схем ВЧ трактов.

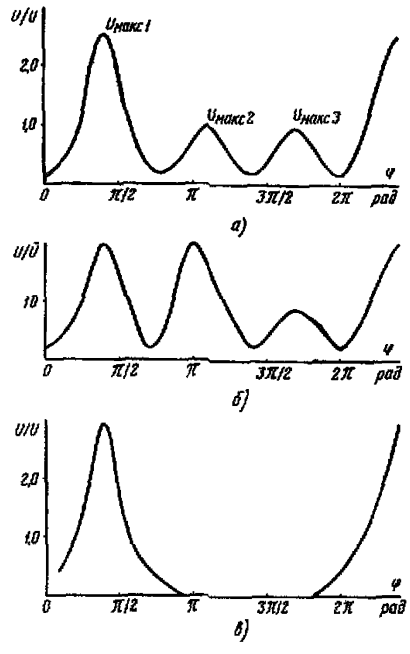


Рис.2.5. Обобщенные зависимости среднеквадратического значения напряжения помех от фазы напряжения промышленной частоты:

а - средняя фаза ВЛ 500 кВ; *б* - крайняя фаза ВЛ 500 кВ; *в* - внутрифазный тракт ВЛ 330 кВ

2.I5. Помехи от короны характеризуются следующими параметрами:

Среднеквадратическим напряжением, усредненным за период промышленной частоты,

$$\bar{U}_{пом} = \sqrt{1/2\pi \int_0^{2\pi} [U_{пом}(\varphi)]^2 d\varphi} \qquad (2.8)$$

и соответствующим этому напряжению уровнем помех

$$p_{пом} = 10 lg \left[(\bar{U}^2_{пом}/R_н) 10^3 \right] \qquad (2.9)$$

Среднеквадратическим напряжением $U_{пом}(\varphi)_{макс\,к}$ в максимумах всплесков помех зависимости $U_{пом}(\varphi)$ ($к$ - номер фазы, коронирование которой обуславливает указанный всплеск) и соответствующим этому напряжению уровнем помех $p_{пом\,макс\,к}$. При этом $p_{пом.макс\,к}$ определяется по формуле (2.9) при подстановке в нее вместо $\bar{U}_{пом}$ значения $U_{пом}(\varphi)_{макс\,к}$.

2.I6. Помехи от частичных разрядов в изоляции (в частности от пробоя разрядного промежутка изоляции грозозащитных тросов) возникают дважды в период промышленной частоты (на каждой из фаз, где имеются пробои), что является характерным отличием этого вида помех от помех, обусловленных короной.

2.I7*. Затухание ЛТ по фазным проводам зависит от выбора рабочего провода (или рабочих проводов для схемы фаза-фаза). Схемы ЛТ с меньшим затуханием, меньшей неравномерностью затухания и большей стабильностью параметров при переключениях силового оборудования на подстанциях и изменении температуры воздуха называются оптимальными. Такими схемами являются:

а) нетранспонированная трехпроводная ВЛ (см.рис.2.2,*а,б*): фаза I - фаза 2 и фаза 2 - земля;

б) нетранспонированная шестипроводная ВЛ (двухцепная ВЛ) (см.рис.2.2,*б*): провод I - провод 4; провод I - провод 2; провод 4 - провод 5; провод I (или 4) - земля; провод 2 (или 5) - земля;

в) транспонированная трехпроводная ВЛ (см.рис.2.2,*а,б*) со стандартной схемой транспозиции (см.рис.2.2,*г*): фаза А - фаза В; фаза А - земля и фаза В - земля.

Примечание. Для транспонированных линий следует учитывать ограничение диапазона рабочих частот ВЧ каналов (см.ниже). За пределами этих ограничений параметры указанных схем присоединения ухудшаются.

2.I8*. При расчетах параметров ЛТ ВЛ низких классов (как правило, II0 кВ и ниже) по напряжению можно пользоваться теорией симметричных линий, у которых коэффициенты распространения и волновые сопротивления всех междуфазных мод одинаковы, и напряжения и токи всех этих мод образуют единую междуфазную волну. Критерием возможности применения теории симметричных линий принята разница между затуханием ЛТ реальных ВЛ, организованных по разным, но однотипным схемам присоединения

(например фаза-земля). Если эта разница не превышает 4 дБ, то с погрешностью не более ±2 дБ затухание $Л^{*}$ можно определять, используя концепцию симметричных линий. Такие линии в дальнейшем будут называться симметричными. Все остальные линии будут называться несимметричными.

2.19. Высокочастотные тракты по ВЛ разделяются на простые и сложные. Простыми называются ВЧ тракты, в которых имеется один линейный тракт, состоящий из одной ВЛ (транспонированной или нетранспонированной). Сложными называются ВЧ тракты, в которых имеется несколько линейных трактов (тракт с обходами) или один линейный тракт, но при наличии на ВЛ, составляющей линейный тракт, ответвлений или кабельных вставок.

2.20. Влиянием называется явление, при котором часть мощности сигнала, передаваемого по ВЧ тракту (влияющему), переходит на другой тракт (подверженный влиянию) и выделяется там на нагрузке, обуславливая появление помехи. Соотношение между мощностью сигнала, вводимого в влияющий тракт, и мощностью этого сигнала на нагрузке тракта, подверженного влиянию, характеризуется значением переходного затухания.

2.21*. Для трактов, организованных по одной и той же ВЛ, различают переходные затухания на ближнем конце линии $A_{л\,б}$ и на дальнем конце $A_{л\,д}$, определяемые согласно рис.2.6,*а*.

Если влияющий и подверженный влиянию тракты имеют одинаковые затухания, то вместо переходного затухания на дальнем конце для оценки влияния используют защищенность $A_{з}$, которая определяется согласно рис.2.6,*б*. Примерами трактов, имеющих одинаковое затухание, являются два внутрифазных или внутритросовых тракта, тракты, организованные по фазам или тросам, симметрично расположенным на опоре ВЛ (например, фаза I – земля и фаза 4 – земля двухцепной нетранспонированной линии рис.2.2,*в*).

2.22*. Для трактов, организованных по двум разным ВЛ, заходящим на одну подстанцию, различают переходное затухание подстанции на ближнем конце $A_{п\,б}$ и на дальнем конце $A_{п\,д}$. Схема определения $A_{п\,б}$ и $A_{п\,д}$ приведены на рис.2.7.

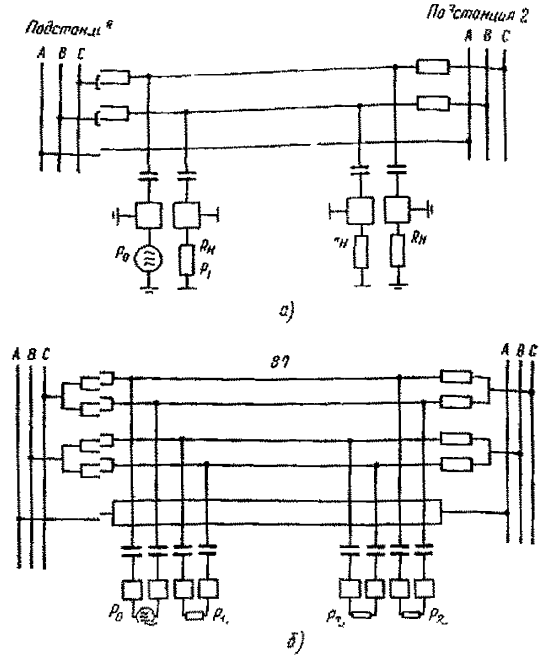


Рис.2.6. Схемы определения переходного затухания ВЛ на ближнем и дальнем концах (*а*) и защищенности на примере двух внутрифазных трактов (*б*)

$$A_{л\,б} = 10 \lg \frac{P_0}{P_1}, \quad A_{л\,д} = 10 \lg \frac{P_0}{P_3}, \quad A_{з} = 10 \lg \frac{P_2}{P_3}$$

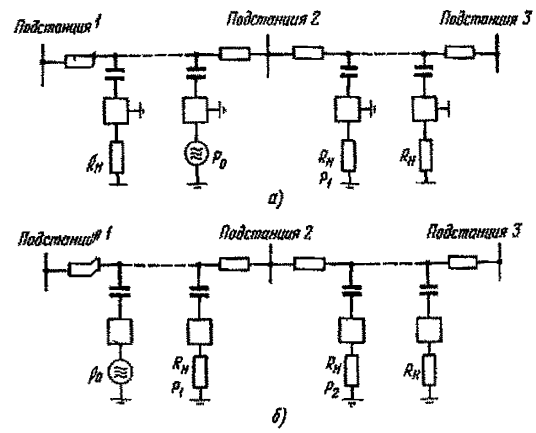


Рис.2.7. Схема определения перехода затухания подстанции на ближнем (*а*) и дальнем (*б*) концах

$$A_{п\,б} = 10 \lg \frac{P_0}{P_1}, \quad A_{п\,д} = 10 \lg \frac{P_0}{P_2}$$

2.23*. За расчетное значение затухания, вносимого заградителем, принимается затухание, определяемое согласно рис.2.8.

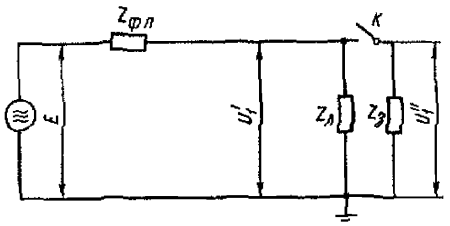


Рис.2.8. Схема определения затухания, вносимого заградителем:

$$a_з = 20lg\frac{U_1'}{U_1''},$$

U_1' – при разомкнутом ключе K; U_1'' – при замкнутом ключе K; $E = const$

2.24. Высокочастотным обходом промежуточной подстанции называется комплекс устройств присоединения и обработки, обеспечивающий прохождение токов высокой частоты при *любой схеме включения оборудования высокого* напряжения на этой подстанции.

Расчетное значение затухания, обусловленного обходом, определяется без учета паразитной кондуктивной связи между участками тракта до и после обхода через рабочую и нерабочие фазы сборных шин подстанции и без учета паразитной электромагнитной связи на участке параллельного сближения ВЛ, образующих тракт с обходом.

Наличие паразитной связи может как увеличить, так и уменьшить затухание, вносимое обходом против его расчетного значения. Значение $\Delta a_{обх}$, равное разности между действительным затуханием, вносимым обходом, и его расчетным значением, называется дополнительным затуханием обхода.

2.25. Участком повышенного затухания тракта с обходом *называется диапазон* частот, где значение $\Delta a_{обх}$ превышает 2 дБ.

2.26. Ответвлением, используемым для организации связи, называется такое ответвление от ВЛ, у которого на подстанции, включенной в конце ответвления, устанавливается аппаратура уплотнения ВЛ рассматриваемого канала связи.

2.27. Разделительным фильтром называется полный или неполный четырехполюсник, предназначенный для частотного разделения ВЧ трактов и каналов, работающих по этим трактам.

2.28. Разделительным фильтром высокого напряжения называется фильтр, включаемый в линию электропередачи для обеспечения электромагнитной совместимости каналов ВЧ связи, работающих в электрических сетях, соединяемых этой линией.

2.29*. *Увеличение коэффициента затухания* основной для данного тракта модальной составляющей, вызванное гололедно-изморозевыми отложениями, называется дополнительным затуханием от гололеда и изморози. Толщина стенки гололеда учитывается в зависимости от района по гололеду согласно табл.2.I.

Таблица 2.I

Нормативная толщина стенки гололеда (при приведении гололеда к цилиндрической форме и удельному весу 0,9)

Район по гололеду	Нормативная толщина стенки гололеда, мм, с повторяемостью	
	один раз в 5 лет	один раз в I0 лет
I	5	5
II	5	I0
III	I0	I5
IУ	I5	20
Особый	20	22

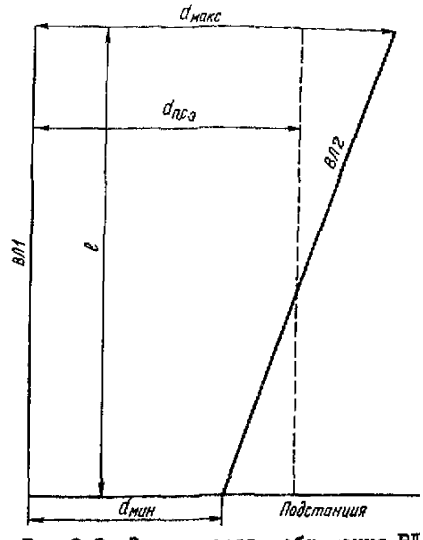


Рис.2.9. Эскиз косого сближения ВЛ

2.30. Расчетной длиной параллельного сближения называется длина участка, на котором расстояние между осями ВЛ изменяется не более чем на $\pm 5\%$ среднего арифметического расстояния, называемого шириной параллельного сближения.

2.3I. Длиной участка косого сближения называется длина участка, на котором расстояние между осями ВЛ изменяется равномерно, возрастая или убывая между крайними точками сближения. Эквивалентная ширина параллельного сближения ($d_{п с э}$) определяется как (рис.2.9)

$$d_{п с э} = \sqrt{d_{макс} d_{мин}}, \text{ при } d_{макс}/d_{мин} \leq 3, \quad (2.I0)$$

$$d_{п с э} = \frac{d_{макс} + 2d_{мин}}{3}, \text{ при } d_{макс}/d_{мин} \leq 5 \quad (2.II)$$

3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА И УРОВНЕЙ ВЧ ПОМЕХ

3.I. Параметры линейного тракта по симметричным ВЛ

3.I.I*. Параметры линейного тракта по ВЛ могут определяться с использованием теории симметричных линий, если произведения верхней граничной частоты ($f_в$) на длину линии (ℓ) не превышают значений, приведенных в табл.3.I.

Таблица 3.I

Максимальные значения произведений f/ℓ для различных ВЛ

Расположение проводов ВЛ	$U_{ВЛ}$ кВ	$(f_в \ell)_{макс}$ кГц·км
Горизонтальное	35	$20 \cdot I0^3$
	II0	$8 \cdot I0^3$
	220	$7 \cdot I0^3$
Треугольное	35	$20 \cdot I0^3$
	II0	$I5 \cdot I0^3$
	220	$I0 \cdot I0^3$
Вертикальное на двухцепных опорах	35	$30 \cdot I0^3$
	II0	$40 \cdot I0^3$
	220	$9 \cdot I0^3$

3.I.2. При организации ВЧ трактов по симметричным ВЛ рабочие провода выбираются произвольно.

3.I.3. Расчетное собственное затухание линейного тракта симметричной ВЛ определяется по формуле

$$a_{лт} = \alpha_ф \ell + a_{доп} . \quad (3.I)$$

Определение величин, входящих в (3.I), приводится ниже.

3.I.4*. Коэффициенты распространения междуфазной (индекс "ф") и земляной (индекс "0") модальных составляющих симметричной ВЛ и волновые сопротивления этих мод определяются по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \alpha_ф &= (K_{1ф}\sqrt{f} + K_{2ф} f)\, 10^{-3}, \\ \alpha_0 &= (K_{10}\sqrt{f} + K_{20} f)\, 10^{-3}, \\ \beta_ф &= 2\pi f / 300, \\ \beta_0 &= 2\pi f / 300 + K_{50} f, \end{aligned}\right\} \quad (3.2)$$

$Z_{вф} = 380$ Ом;

$Z_{в0} = 650$ Ом.

Значения коэффициентов $K_{1\varphi}$ и K_{10} приведены в табл.3.2, значения коэффициентов $K_{2\varphi}$ приведены в табл.3.3. Значения коэффициентов K_{20} и K_{50} определяются по кривым, приведенным на рис.3.I, вне зависимости от напряжения ВЛ и типа расположения проводов. При неизвестном значении $\rho_з$ можно принимать равным I00 Ом·м.

Другие модальные параметры, а также выражения для уточненного определения значений $K_{2\varphi}$, $Z_{в\varphi}$ и $Z_{в0}$ даны в приложении 2.

Таблица 3.2

Значения коэффициентов $K_{1\varphi}$ и K_{10} для симметричных линий

Марка провода	Диаметр провода, см	$K_{1\varphi}$	K_{10}
АС 50/8	0,96	7,4	4,3
АС 70/II	I,I4	6,3	3,6
АС 95/I6	I,35	5,3	3,I
АС 95/I4I	I,98	3,6	2,I
АС I20/27	I,55	4,7	2,8
АС I85/24	I,89		
АС I85/29	I,88	3,7	2,2
АС I85/43	I,96		
АС I85/I28	2,3I	3,I	I,8

Окончание таблицы 3.2

Марка провода	Диаметр провода, см	$K_{1\varphi}$	K_{10}
АС 240/32	2,I6		
АС 240/39	2,I6	3,3	I,9
АС 240/56	2,24		
АС 300/39	2,4		
АС 300/48	2,4I	3,0	I,8
АС 300/66	2,45		
АС 300/204	2,92	2,4	I,4

Таблица 3.3

Значения коэффициентов $K_{2\varphi}$ для симметричных линий

Напряжение ВЛ, кВ	Расположение проводов	$K_{2\varphi}$
35	Любое	0,I2
II0	Одноцепное	0,23
	Вертикальное на двухцепных опорах	0,I6
220	Одноцепное	0,37
	Вертикальное на двухцепных опорах	0,25

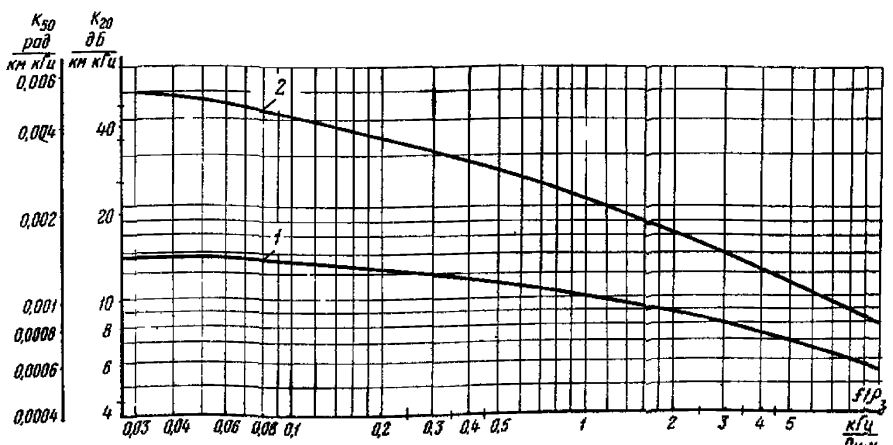


Рис.3.I. График для определения приближенных значений K_{20} (кривая I) и K_{50} (кривая 2):

$$K_{20}=10^{1,02-0,19\lg(f/\rho_з)-0,075\lg^2(f/\rho_з)};$$

$$K_{50}=10^{-2,68-0,36\lg(f/\rho_з)-0,065\lg^2(f/\rho_з)};$$

при $\rho_з$ - I00 Ом.м $\quad K_{20}=10^{1,1+0,11\lg f-0,075\lg^2 f}$;

$$K_{50}=10^{-2,22-0,1\lg f-0,065\lg^2 f}$$

3.I.5*. Значение дополнительного затухания $a_{доп}$ для симметричных ВЛ принимается равным:

а) для схемы присоединения фаза-фаза

$$a_{доп}=0, \qquad (3.3)$$

б) для схемы присоединения фаза-земля

$$a_{доп}=a_к+\Delta a_0, \qquad (3.4)$$

где $a_к$ = 2,5 дБ для трехпроводных ВЛ;
$a_к$ = I,0 дБ для шестипроводных ВЛ;

$$\Delta a_0 = 20\lg\left[1+e^{-0{,}115(\alpha_0-\alpha_\phi)\ell}\right] \qquad (3.5)$$

при $K_{50} f\ell > \pi/2$ и $f_в\ell < 2\cdot10^3$ кГц·км;

$$\Delta a_0 = 0 \qquad (3.5а)$$

при $K_{50} f\ell \le \pi/2$ или $f_в\ell \ge 2\cdot10^3$ кГц·км.

3.I.6*. Расчетное характеристическое сопротивление линейного тракта принимается равным:

а) для схемы присоединения фаза-фаза

$$Z_{лт} = 760 \text{ Ом};$$

б) для схемы присоединения фаза-земля

$$Z_{лт} = 450 \text{ Ом}.$$

3.I.7. Коэффициент отражения междуфазной волны напряжения от конца симметричной линии определяется по формулам:

а) для схемы присоединения фаза-фаза

$$K_\phi = \frac{q_p-1}{q_p+1}; \qquad (3.6)$$

$$q_p = Z_p / 2Z_{вф}, \qquad (3.6а)$$

где Z_p – сопротивление нагрузки, включенное между рабочими фазами;

б) для схемы присоединения фаза-земля

$$\left.\begin{aligned} K_\phi &= \frac{(q_0+q_p)(q_{нр}-1)+2(q_0+q_{нр})(q_p-1)}{(q_0+q_p)(q_{нр}+1)+2(q_0+q_{нр})(q_p+1)}; \\ q_0 &= Z_{в0}/Z_{вф};\ q_p = Z_p/Z_{вф};\ q_{нр} = Z_{нр}/Z_{вф}; \end{aligned}\right\} \qquad (3.7)$$

где Z_p – сопротивление нагрузки, включенное между рабочей фазой и землей;
$Z_{нр}$ – сопротивление нагрузки, включенное между каждой из нерабочих фаз и землей.

Для приведенных в п.3.I.4 значений $Z_{вф}$ и $Z_{в0}$ q_0 = I,7I. С учетом значения q_0 значение K_ϕ при КЗ и ХХ нерабочих фаз может рассчитываться по формулам:

КЗ нерабочих фаз ($q_{нр}$ = 0)

$$K_\phi \approx 0{,}55\,\frac{q_p-2{,}12}{q_p+1{,}16}, \qquad (3.7а)$$

ХХ нерабочих фаз ($q_{нр}=\infty$)

$$K_\phi \approx \frac{q_p-0{,}1}{q_p+1{,}24}. \qquad (3.7б)$$

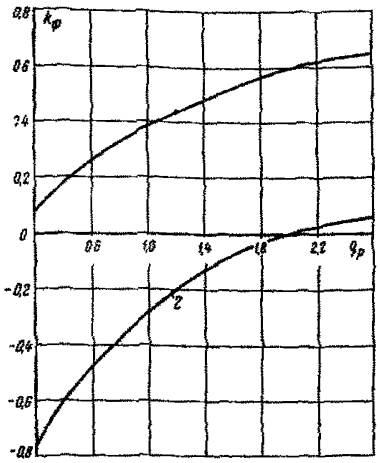


Рис.3.2. Коэффициент отражения K_ϕ от конца ВЛ в зависимости от q_p:
I – $q_{нр}=\infty$; 2 – $q_{нр}$ = 0

На рис.3.2 приведены зависимости K_ϕ от значений относительного сопротивления нагрузки рабочей фазы, полученные для расчетных случаев КЗ и ХХ нерабочих фаз.

3.2. Параметры линейного тракта по несимметричным ВЛ

3.2.I. Линейные тракты по фазным проводам ВЛ

3.2.I.I. Для ВЛ 35-220 кВ, если произведение $f_в\ell$ превышает значение, указанное в табл.3.I, а также для ВЛ напряжением 330 кВ и выше затухание линейного тракта по фазным проводам должно определяться по формулам, полученным для несимметричных линий.

3.2.I.2* При организации линейных трактов по несимметричным ВЛ рекомендуется отдавать предпочтение оптимальным схемам присоединения (см.п.2.I7). Применение других схем присоединения допускается только при невозможности по той или иной причине использовать оптимальную схему присоединения.

3.2.I.3*. При выборе схем присоединения для организации линейных трактов следует учитывать требования пп.3.2.I.8, 3.2.I.9, 3.2.I.II и 3.2.I.I4 по ограничению диапазона частот, передаваемых по ВЧ тракту.

3.2.I.4*. Коэффициенты распространения модальных составляющих трехпроводных несимметричных линий с унифицированными опорами можно определять по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \alpha_S &= (K_{1S} K_3 \sqrt{f} + K_{2S} K_4 f)\, 10^{-3}, \\ \beta_S &= 2\pi f/300 + K_4 K'_{5S} f \ . \end{aligned}\right\} \qquad (3.8)$$

Примечание. Для трехфазных ВЛ с горизонтальным расположением фаз и двумя изолированными проводящими грозозащитными тросами (т.е. для пятипроводной ВЛ 500 и 750 кВ) коэффициенты распространения модальных составляющих I – средняя фаза – остальные фазы и тросы и 4 – фаза-фаза крайние с участием тросов определяются по формулам (3.8), как для трехпроводных ВЛ. При этом модальная составляющая 4 обозначается, как для трехпроводной линии, номером 2.

Расчетные значения коэффициентов K_{1S} (S = I,2,0), K_{2S} (S = I,2), K_3 и K_4 приведены в табл.3.4–3.6. Значение коэффициента K_{20} определяется по кривым рис.3.I вне зависимости от типа расположения проводов и класса напряжения линии. При неизвестном значении ρ_3 его можно принимать равным I00 Ом·м.

Расчетные значения коэффициентов K'_{5S} принимаются равными: $K'_{51} = 0$; K'_{52} по данным табл.3.6; K'_{50} – по данным рис.3.I вне зависимости от типа расположения проводов и классов напряжения линии.

3.2.I.5*. Коэффициенты распространения модальных составляющих шестипроводных (двухцепных) ВЛ с вертикальным расположением проводов и унифицированными типами опор могут быть рассчитаны по формулам (3.8). Расчетные значения коэффициентов K_{1S}, K_{2S} и K'_{5S} (S = I,2,3,4,5) приведены в табл.3.7 и 3.8; значения коэффициентов K_3 и K_4 приведены в табл.3.4, коэффициентов K_{10} – в табл.3.7; значения коэффициентов K_{20} и K'_{50} могут быть определены по рис.3.I.

Таблица 3.4

Значения коэффициентов K_3 и K_4 в (3.8)

Число проводов в расщепленной фазе	I	2	3	4	5
K_3	I	0,68	0,48	0,39	0,32
K_4	I	I,35	I,45	I,55	I,60

Таблица 3.5

Значения коэффициентов K_{1S} в (3.8)

Марка провода	Диаметр провода, см	K_{11}	K_{12}	K_{10}
АС 70/II	I,I3	7,0	6,2	4,2
АС 95/I6	I,35	6,0	5,3	3,6
АС 95/I4I	I,98	4,0	3,6	2,5
АС I20/I9	I,52	5,2	4,7	3,I
АС I20/27	I,55			
АС I85/24	I,89			
АС I85/29	I,88	4,2	3,8	2,5
АС I85/43	I,96			
АС I85/I28	2,3I	3,4	3,I	2,I
АС 240/32	2,I6			
АС 240/39	2,I6	3,6	3,3	2,2
АС 240/56	2,24			
АС 300/39	2,4			
АС 300/48	2,42	3,3	3,0	2,0
АС 300/66	2,45			
АС 300/204	2,92	2,7	2,5	I,6
АС 330/43	2,52	3,2	2,9	I,9
АС 330/27	2,44			
АС 400/22	2,66			
АС 400/5I	2,75	2,9	2,6	I,8
АС 400/64	2,77			
АС 400/93	2,9I	2,7	2,5	I,6
АС 500/64	3,06	2,6	2,3	I,6
АС 500/336	3,75	2,I	I,9	I,3

Таблица 3.6

Значения коэффициента K_{2S} в (3.8)

Расположение проводов	$U_{вл}$ кВ	K_{21} дБ/(км·кГц·10^{-3})	K_{22} дБ/(км·кГц·10^{-3})	K'_{52} рад/(км·кГц)	Примечание
Горизонтальное	110	0,012	0,32	$1,4\cdot10^{-4}$	
	220	$6,6\cdot10^{-3}\ f^{0,25}$ *1 0,032 *2	$4\cdot10^{-2}\ f^{1/2}$ *3 0,5 *4	$2,4\cdot10^{-4}$ *3 $1,0\cdot10^{-3}/\ f^{1/3}$ *5	
	330	$7,2\cdot10^{-3}\ f^{1/3}$ *1 0,055 *2	$8\cdot10^{-2}\ f^{1/2}$ *3 0,63 *4	$2,9\cdot10^{-4}$ *3 $1,3\cdot10^{-3}/\ f^{1/3}$ *5	
	500	$7,6\cdot10^{-3}\ f^{1/2}$ *1 0,15 *2	$0,12\ f^{1/2}$ *3 1,1 *4	$4,0\cdot10^{-4}$ *3 $1,8\cdot10^{-3}/\ f^{1/3}$ *5	
	750	$1,2\cdot10^{-2}\ f^{1/2}$ *3 0,14 *5	$0,17\ f^{1/2}$ *3 $4,9/\ f^{1/4}$ *5	$4,0\cdot10^{-4}$ *3 $1,8\cdot10^{-3}/\ f^{1/3}$ *5	Опоры типов ПШ и ПБ
	750	$0,73\cdot10^{-2}\ f^{1/2}$ *3 0,07 *5	$0,12\ f^{1/2}$ *3 $3,7/\ f^{1/4}$ *5	$3,2\cdot10^{-4}$ *3 $1,3\cdot10^{-3}/\ f^{1/3}$ *5	Опоры типа ПН
Треугольное	110	0,036	$2,9\cdot10^{-2}\ f^{1/3}$ *6 0,17 *5	$0,70\cdot10^{-4}$ *3 $3,5\cdot10^{-4}/\ f^{1/3}$ *5	
	220	0,036	$6,0\cdot10^{-2}\ f^{1/3}$ *6 0,30 *5	$1,8\cdot10^{-4}$ *3 $8,5\cdot10^{-4}/\ f^{1/3}$ *5	Стальные свободностоящие опоры
	220	0,036	$9\cdot10^{-2}\ f^{1/3}$ *6 0,45 *5	$1,2\cdot10^{-4}$ *3 $5,6\cdot10^{-4}/\ f^{1/3}$ *5	Опоры на оттяжках
	330	0,036	$11\cdot10^{-2}\ f^{1/3}$ *6 0,50 *5	$1,8\cdot10^{-4}$ *3 $8,5\cdot10^{-4}/\ f^{1/3}$ *5	

Примечание. *1 $f \leqslant 1000$; *2 $f \geqslant 400$; *3 $f \leqslant 100$; *4 $f \geqslant 50$; *5 $f > 100$; *6 $f \leqslant 200$.

Таблица 3.7

Значения коэффициентов K_{1S} для шестипроводных ВЛ в (3.8)

Марка провода	K_{11}, K_{12}, K_{13}	K_{14}, K_{15}	K_{10}
АС 70/II	7,0	5,8	3,2
АС 95/I6	6,0	5,0	2,7
АС 95/I4I	4,0	3,4	I,8
АС I20/I9	5,2	4,3	2,3
АС I20/27			
АС I85/24			
АС I85/29	4,2	3,5	I,9
АС I85/43			
АС I85/I26	3,4	2,9	I,6
АС 240/32			
АС 240/39	3,6	3,0	I,6
АС 240/56			
АС 300/39			
АС 300/48	3,3	2,8	I,5
АС 300/66			
АС 300/204	2,7	2,4	I,2
АС 330/27	3,2	2,7	I,4
АС 330/43			
АС 400/22			
АС 400/5I	2,9	2,4	I,3
АС 400/64			
АС 400/93	2,7	2,4	I,2
АС 500/64	2,6	2,2	I,2
АС 500/336	2,I	I,8	I,0

Таблица 3.8

Значения коэффициентов K_{2S} и K'_{5S} для шестипроводных ВЛ в (3.8)

$U_{ВЛ}$ кВ	Коэффициенты			
	K_{24}	K_{25}	K'_{54}	K'_{55}
II0	0,I5	0,I9	$0,35 \cdot 10^{-4}$	$0,47 \cdot 10^{-4}$
220	0,I5	0,4	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$I,65 \cdot 10^{-4}$
330	0,I5	0,5	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$

Примечание. $K_{21} = K_{22} = K_{23} = 0$; $K'_{51} = K'_{52} = K'_{53} = 0$ для ВЛ всех классов напряжения.

3.2.I.6. Затухание линейного тракта по несимметричным нетранспонированным или транспонированным ВЛ определяется по формуле

$$a_{ЛТ} = \alpha_S \ell + a_{доп} , \qquad (3.9)$$

где α_S – коэффициент затухания основной для рассматриваемого тракта S-й модальной составляющей (обычно $S = I$);

ℓ – суммарная длина однородных участков ВЛ, входящих в линейный тракт (для транспонированной ВЛ ℓ – сумма длин всех участков транспозиции);

$a_{доп}$ – дополнительное затухание, определяемое, как показано ниже.

3.2.I.7*. Затухание линейного тракта трехпроводной нетранспонированной ВЛ с горизонтальным и треугольным расположением проводов определяется по формуле (3.9), в которой для всех схем присоединения, кроме схемы фаза I – фаза 3 (см.рис.2.2), принимается $S = I$ и $a_{доп}$ определяется по формулам:

$$a_{доп} = 20 \lg \left| C_1 + C_2 \exp(-\Delta g) \right| , \qquad (3.I0)$$

$$\Delta g = 0,115 \Delta\alpha + j \Delta\beta = 0,115(\alpha_2 - \alpha_1)\ell + j(\beta_2 - \beta_1)\ell . \qquad (3.II)$$

Для схемы присоединения фазы I – фаза 3 (см.рис.2.2)

$$\left.\begin{aligned} \alpha_S &= \alpha_2 , \\ a_{доп} &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (3.I2)$$

Значения коэффициентов C_1 и C_2 в (3.I0) приведены в табл.3.9.

Если допустить погрешность в определении $a_{доп}$, не превышающую x дБ, то при выполнении условия

$$\Delta a + 20 \lg \left| C_1 / C_2 \right| \geq A , \qquad (3.I3)$$

$$A = 20 \lg \left| \frac{1}{1 - e^{-0,115x}} \right| \qquad (3.I3а)$$

выражение (3.I0) упрощается и записывается в виде:

$$a_{доп} = 20 lg |1/C_1| = a_к \qquad (3.14)$$

Значения коэффициента $a_к$ также приведены в табл.3.9.

При разных допустимых значениях X величина A имеет следующие значения:

X	дБ	I	2	3	6
A	дБ	I9,3	I3,7	I0,7	6

линейному тракту, если для этих частот не удовлетворяется неравенство (3.I3), при A = 6 дБ, рекомендуется ограничивать. Верхняя граничная частота диапазона $f_в$ определяется по формуле

$$f_в \leqslant (m/\ell)\, 10^2 \qquad (3.15)$$

Таблица 3.9

Значения коэффициентов C_1 и C_2 в (3.I0) и $a_к$ в (3.I4)

Расположение проводов	Номер схемы	Присоединение к проводам на* передающем конце	Присоединение к проводам на* приемном конце	C_1	C_2	$a_к$ дБ
Горизонтальное	I	I–2	I–2	0,76	0,23	2,4
	2	I–2	2–3	–0,76	0,23	2,4
	3**	2–0	2–0	0,8	0	2
	4	I–0	I–0	0,22	0,55	I3
	5**	I–0	2–0	0,42	0	7,5
	6	I–0	3–0	0,22	–0,55	I3
Треугольное	7**	I–2	I–2	0,9	0,I	I
	8	2–3	2–3	0,54	0,45	5,4
	9**	2–0	2–0	0,8I	0	I,8
	I0	I–0	I–0	0,3I	0,4I	I0
	II***	3–0	3–0	0,05	0,65	26
	I2**	I–0	2–0	–0,5I	0,I	5,8
	I3	I–0	3–0	0,I3	–0,52	I7,7

*Обозначение типа I–2 (2–0) соответствует присоединению фаза I – фаза 2 (фаза 2 – земля).

**Для присоединения по схемам № 3,5,7,9 и I2 затухание $a_{лт}$ рассчитывается по (3.9) с учетом того, что $a_{доп} = a_к$ и $\alpha_S = \alpha_1$.

***Для присоединения по схеме № II расчет с достаточной степенью точности можно производить по (3.9), принимая $a_{доп}$ = 3,7 дБ и $\alpha_S = \alpha_2$ (т.е. считая, что основной модальной составляющей для этой схемы является мода 2).

3.2.I.8*. При использовании неоптимальных схем присоединения к одноименным фазам на передающем и приемном концах нетранспонированной линии длиной ℓ (схемы № 4 и I0 табл.3.9) диапазон частот, передаваемых по

Значения коэффициентов m приведены в табл.3.I0.

Примечание. Если в рассматриваемом диапазоне частот неравенство (3.I3) при A = 6 дБ удовлетворяется, то ограничения по значению $f_в$ не принимаются во внимание.

Таблица 3.I0

Значения коэффициентов m в формуле (3.I5) *для нетранспонированных ВЛ*

Расположение проводов	$U_{вл}$ кВ	Значения коэффициента m для	
		схем № 4, I0	схем № 6, I3
Горизонтальное	220	75	250
	330	45	I50
	500	25	75
	750	25	75
Треугольное	II0	300	900
	220	I50	450
	330	75	250

3.2.I.9*. Использование присоединения по схеме фаза-земля к разноименным фазам на передающем и приемном концах нетранспонированной ВЛ длиной ℓ (схемы № 5,6,I2,I3 табл.3.9) допускается лишь при соблюдении условия

$$\alpha_0 \ell \geq 30 \text{ дБ}, \qquad (3.I6)$$

где α_0 определяется для самой низкой частоты, передаваемой по тракту.

При использовании схем присоединения № 6 и I3 табл.3.9 диапазон частот, передаваемых по линейному тракту, если для этих частот не удовлетворяется неравенство (3.I3) при A = 6 дБ, рекомендуется ограничивать. При этом верхняя граничная частота $f\beta$ определяется по формуле (3.I5) со значениями коэффициентов m, приведенных в табл.3.I0.

Применять схемы присоединения № 5, 6, I2 и I3 (см.табл.3.9) рекомендуется только в том случае, когда с обеих сторон ВЛ обе рабочие фазы обрабатываются в одном и том же диапазоне частот (т.е. образуются два "перекрестных" тракта, например, для схемы № 5 I-0/2-0 и 2-0/I-0, где числитель - схема присоединения на одном из концов ВЛ, а знаменатель - на другом конце).

Если на каждом из концов линии в рассматриваемом диапазоне частот обрабатывается только рабочая фаза (например, I-0 на одной стороне линии и 2-0 на другой ее стороне), то присоединение по схемам № 5,6, I2 и I3 следует осуществлять только при соблюдении условия

$$\alpha_1 \ell \geq 5 \text{ дБ}. \qquad (3.I7)$$

3.2.I.I0*. *Затухание линейного тракта* по шестипроводной нетранспонированной ВЛ с вертикальным расположением проводов определяется по формуле (3.9), в которой значение α_s всегда принимается равным α_1, а значение $a_{доп}$ определяется:

а) для оптимальных схем присоединения фаза-фаза (фаза I - фаза 4, фаза I - фаза 2 и фаза 4 - фаза 5, рис.2.2,*в*)

$$a_{доп} = 0,$$

б) для схем присоединения фаза-земля и и остальных схем присоединения фаза-фаза

$$a_{доп} = 20 \lg \left| 1/\left[C_1 + C_2 \exp(-\Delta g_4) + C_3 \exp \times \right.\right. \times \left.\left.(-\Delta g_5)\right]\right|, \qquad (3.I8)$$

$$\left.\begin{aligned} \Delta g_4 &= 0,115 \Delta a_4 + j \Delta b_4 = 0,115(\alpha_4 - \alpha_1)\ell + \\ &+ j(\beta_4 - \beta_1)\ell, \\ \Delta g_5 &= 0,115 \Delta a_5 + j \Delta b_5 = 0,115(\alpha_5 - \alpha_1)\ell + \\ &+ j(\beta_5 - \beta_1)\ell \end{aligned}\right\} \qquad (3.I9)$$

Значение коэффициентов C_1, C_2 и C_3 даны в табл.3.II. При соблюдении двух неравенств:

$$\left.\begin{aligned} \Delta a_4 + 20 \lg |C_1/C_2| &\geq A \text{ дБ} \\ \Delta a_5 + 20 \lg |C_1/C_3| &\geq A \text{ дБ} \end{aligned}\right\}, \qquad (3.20)$$

где A определяется по (3.I3а), выражение (3.I8) с погрешностью не более x дБ записывается в виде:

$$a_{доп} = 20 \lg |1/C_1| = a_к \qquad (3.2I)$$

Значение $a_к$ приведено в табл.3.II.

3.2.I.II*. При использовании неоптимальных схем присоединения к шестипроводным ВЛ (схемы № 3,5,7 табл.3.II) диапазон частот, передаваемых по линейному тракту, если не выполняются неравенства (3.20) при A = 6 дБ, рекомендуется ограничивать. Верхняя граничная частота определяется по формуле (3.I5), в которой значения коэффициента m принимаются, как указано ниже.

$U_{вл}$ кВ.....	II0	220	330
m	330	95	50

Таблица 3.II

Значения коэффициентов C_1, C_2 и C_3 в (3.I8) и затухания $a_к$ в (3.2I)

Номер схемы	Присоединение к проводам (одинаковым на обеих концах ВЛ) - см. рис.2.2, *б*	Коэффициенты			$a_к$ дБ
		C_1	C_2	C_3	
I	I-0*	0,79	0,I6	0,02	2,I
2	2-0*	0,75	0,06	0,I3	2,5
3	3-0	0,26	0,I6	0,2I	II,7
4	2-3	0,72	0,28	0	2,9
5	2-5	0,63	0	0,37	4,0
6	I-3	0,48	0,43	0,I	6,4
7	3-6	0,43	0	0,56	7,3

*Для присоединения по схемам № I и 2 $a_{доп}$ может быть с достаточной точностью определено по (3.2I) с учетом того, что $a_{доп} = a_к$ независимо от частоты.

3.2.I.I2*. Затухание линейного тракта трехпроводной транспонированной ВЛ со стандартным циклом транспозиции (см.рис.2.2) определяется по формуле (3.9), в которой

$$\alpha_5 = \alpha_1 , \qquad (3.22)$$

$$a_{доп} = 20\lg\left|1/\left[C_1 + C_2\exp(-\Delta g) + C_3\exp(-2\Delta g) + C_4\exp(-3\Delta g)\right]\right|, \qquad (3.23)$$

$$\Delta g = 0{,}115\Delta a + j\Delta\beta, \quad \Delta a = (\alpha_2 - \alpha_1)\ell_т ; \quad \Delta\beta = (\beta_2 - \beta_1)\ell_т . \qquad (3.24)$$

Затухание трактов по фазам пятипроводной ВЛ 500-750 кВ (три фазы и два изолированных проводящих грозозащитных троса) с горизонтальным расположением фаз рассчитывается по этим же формулам при условии ограничения диапазона частот согласно п.3.2.I.I4.

Значения коэффициентов C_1, C_2, C_3 и C_4 в формуле (3.23) приведены в табл.3.I2.

При соблюдении двух неравенств:

$$\left.\begin{aligned} \Delta a + 20\lg|C_1/C_2| \geq A \text{ дБ}, \\ \Delta a + 10\lg|C_1/C_3| \geq \tfrac{1}{2} A \text{ дБ} \end{aligned}\right\} \qquad (3.25)$$

формула (3.23) с погрешностью, не превышающей x дБ (см.п.3.2.I.I7), может быть заменена формулой (3.2I). Значение $a_к$, вычисленное по (3.2I), приведено в табл.3.I2.

Примечания: I. Иногда вблизи подстанции устанавливают третью транспозиционную опору для фазировки ВЛ, как показано на рис.3.3. При расчетах затухания эту опору можно не учитывать, если длина ℓ_4 от этой опоры до подстанции не превышает $(900/f_в)$, м, где $f_в$ - верхняя граничная частота, передаваемая по линейному тракту.-2. Значение $a_{доп}$ для линейного тракта трехпроводной ВЛ с одной транспозиционной опорой можно определить по формулам приложения 3.

Значение $a_{доп}$ можно определить по номограммам рис.3.4 по известным значениям Δa и $\Delta\beta$, вычисленным по (3.24). Разность $(\alpha_2 - \alpha_1) = \Delta\alpha$ и $(\beta_2 - \beta_1) = \Delta\beta$ в (3.24) можно определить либо пользуясь данными п.3.2.I.I4, либо по номограммам рис.3.5 для заданных значений f и $\rho_з$. При неизвестном значении $\rho_з$ оно принимается равным I00 Ом.м.

3.2.I.I3*. Организацию линейного тракта по транспонированной ВЛ по схемам № 2 и 9 табл.3.I2 рекомендуется осуществлять при соблюдении условия

$$\Delta a \geq 5 \text{ дБ}, \qquad (3.26)$$

где Δa - определяется по (3.24).

3.2.I.I4*. Диапазон частот, передаваемых по линейному тракту по фазам транспонированной трехпроводной и пятипроводной ВЛ с горизонтальным расположением фаз, если для этих частот не соблюдается неравенства (3.25) при A = = 6 дБ, рекомендуется ограничивать.

Граничные частоты вычисляются по формуле (3.I5), в которой под ℓ понимается полная длина ВЛ, а значения коэффициентов m принимаются согласно табл.3.I3.

3.2.I.I5*. Затухание внутрифазного линейного тракта с присоединением к изолированным проводам расщепленной фазы транспонированной и нетранспонированной ВЛ 330 кВ определяется по формулам:

$$a_{пт\,вф} = \alpha_{вф}\ell , \qquad (3.27)$$

$$\alpha_{вф} = 1{,}8K_{11}\sqrt{f}\,10^{-3}. \qquad (3.28)$$

Значение коэффициента K_{11} принимается согласно табл.3.5.

3.2.I.I6. *Расчетное характеристическое* сопротивление линейного тракта принимается равным:

а) для схемы присоединения фаза-земля

$$Z_{ЛТ} = 450 \ /K_4;$$

б) для схемы присоединения фаза-фаза

$$Z_{ЛТ} = 760 \ /K_4;$$

в) для внутрифазного тракта

$$Z_{ЛТ\,ВФ} = 400 \text{ Ом}.$$

Значения коэффициента K_4 принимается согласно табл.3.4.

3.2.I.I7*. Коэффициент отражения *междуфазной волны от концов ВЛ при оптимальных* схемах присоединения в первом приближении можно рассчитать согласно п.3.I.7, принимая усредненное значение $Z_{ВФ} = 380/K_4$ и определяя значение коэффициента K_4 согласно табл.3.4. Для внутрифазного тракта коэффициент отражения определяется по (3.6) при $Z_{ВФ} = 400$ Ом.

Таблица 3.I2

Значения коэффициентов C_1, C_2, C_3 и C_4 в (3.23) и $a_к$ в (3.2I)

Расположение проводов	Номер схемы	Присоединение к ВЛ (см.рис.2.2) на		Коэффициенты				$a_к$ дБ
		передающем конце	приемном конце	C_1	C_2	C_3	C_4	
Горизонтальное	I	A–земля B–земля	A–земля B–земля	-0,I05	0,6	0,29	0	I9,6
	2	B–земля	A–земля	0,2	-0,6	0	0	I4,0
	3	A–B	A–B	-0,I9I	0,935	0,I9I	0,06	I4,4
	4	B–C A–B	A–B A–C	0,I9I	-0,572	-0,I72	0,06	I4,4
	5	C–земля	C–земля	0,06	0,I36	0,7I3	-0,I38	24,4
	6	B–C A–C	B–C A–C	0	-0,394	-0,769	0,I25	∞
Треугольное	7	A–земля	A–земля	-0,I4	0,66	0,I8	0,02I	I7
	8	B–земля	B–земля	-0,055	0,45I	0,355	-0,026	25,2
	9	B–земля	A–земля	0,224	-0,584	-0,0I8	0	I3
	I0	A–B	A–B	-0,I95	0,909	0,I86	0,044	I4,2
	II	A–B	A–C	0,244	-0,632	-0,067	0,02	I2,3
	I2	B–C	A–B	0,I50	-0,4I4	-0,336	0,089	I6,5
	I3	C–земля	C–земля	0,034	0,I69	0,58I	-0,I0I	29,4
	I4	A–C	A–C	0,056	-0,502	-0,5I4	0,059	25,0
	I5	B–C	B–C	-0,038	-0,285	-0,784	0,I28	28,4

Примечание. Схемы I–4 и 7–I2 являются оптимальными, а 5,6,I3–I5 – неоптимальными.

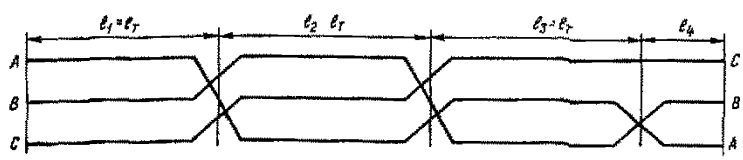
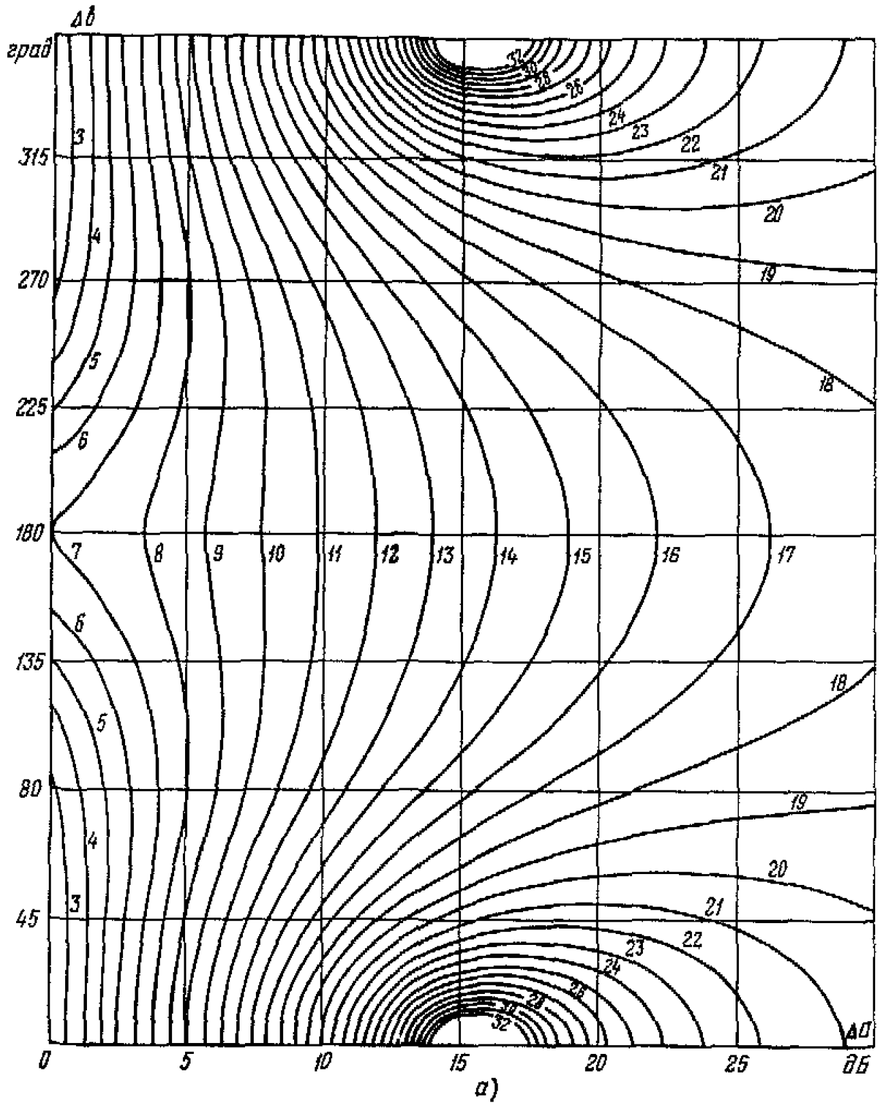
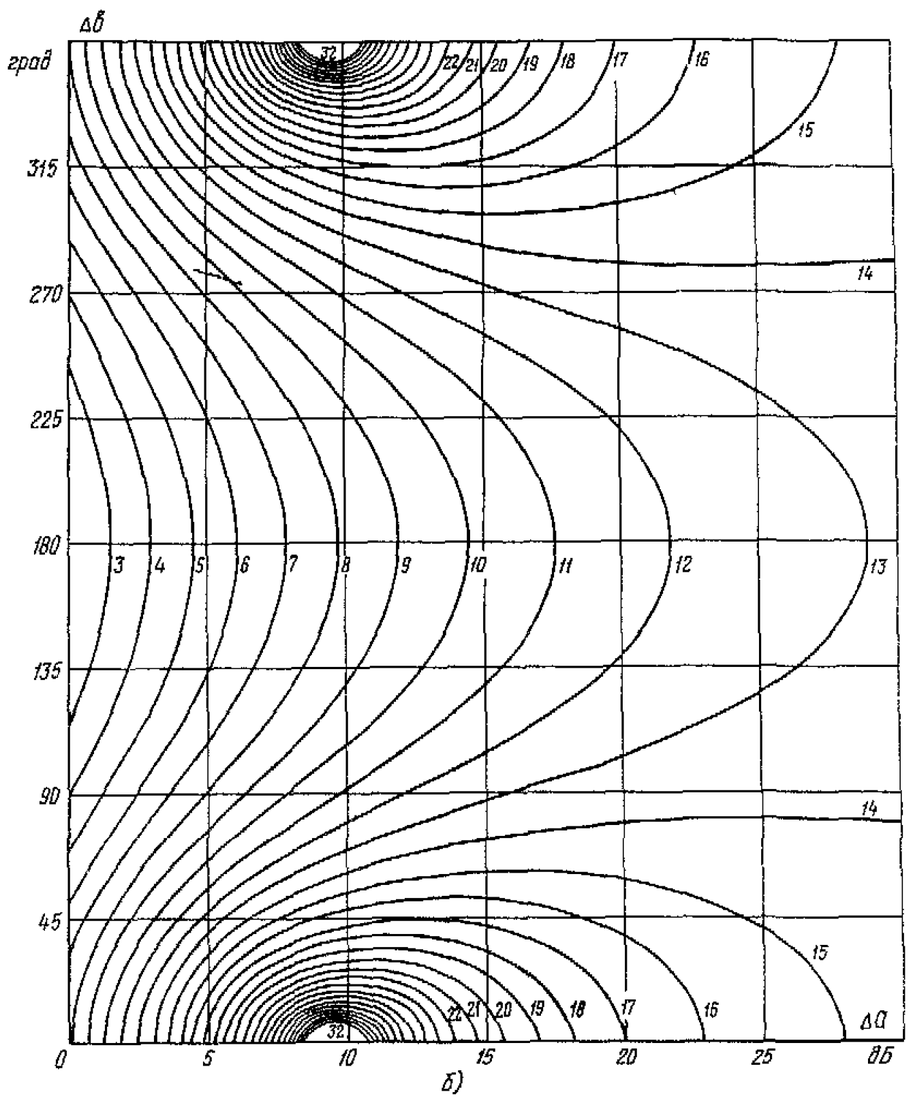


Рис.3.3. Схема транспозиции ВЛ с фазировочной транспозиционной опорой


Δδ
град
315
270
225
180
135
80
45
0
5
10
15
20
25
ΔΩ
дБ

а)


Δδ
град
315
270
225
180
135
90
45
0
5
10
15
20
25
ΔΩ
дБ

б)

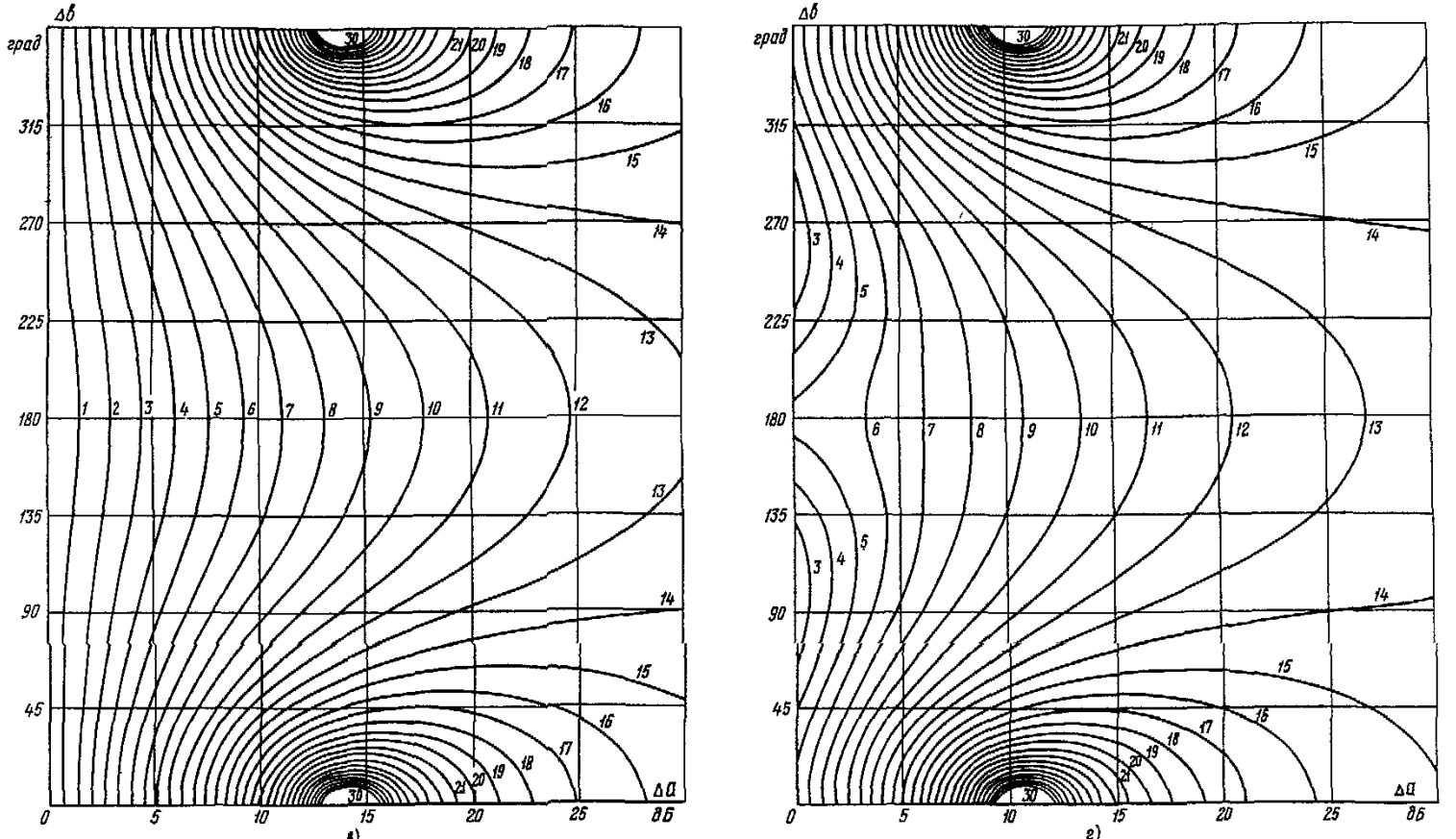
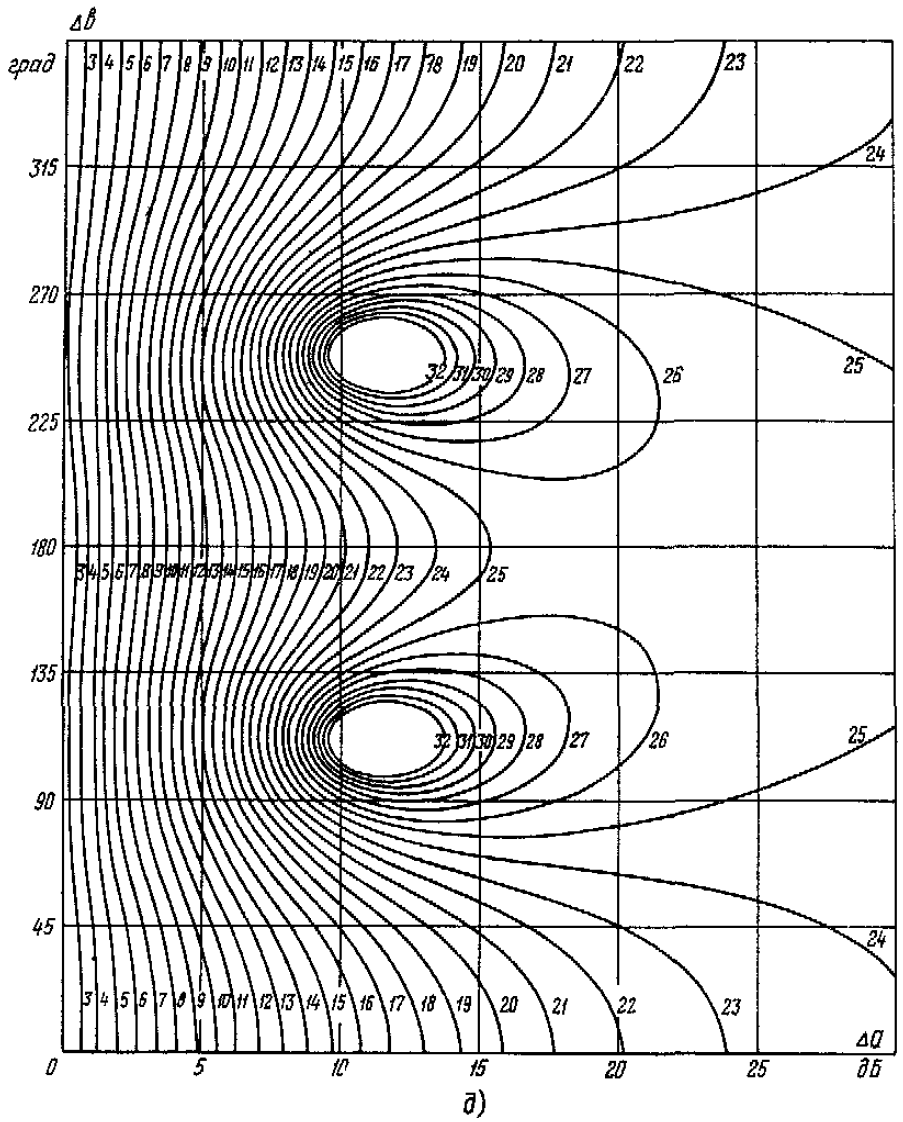
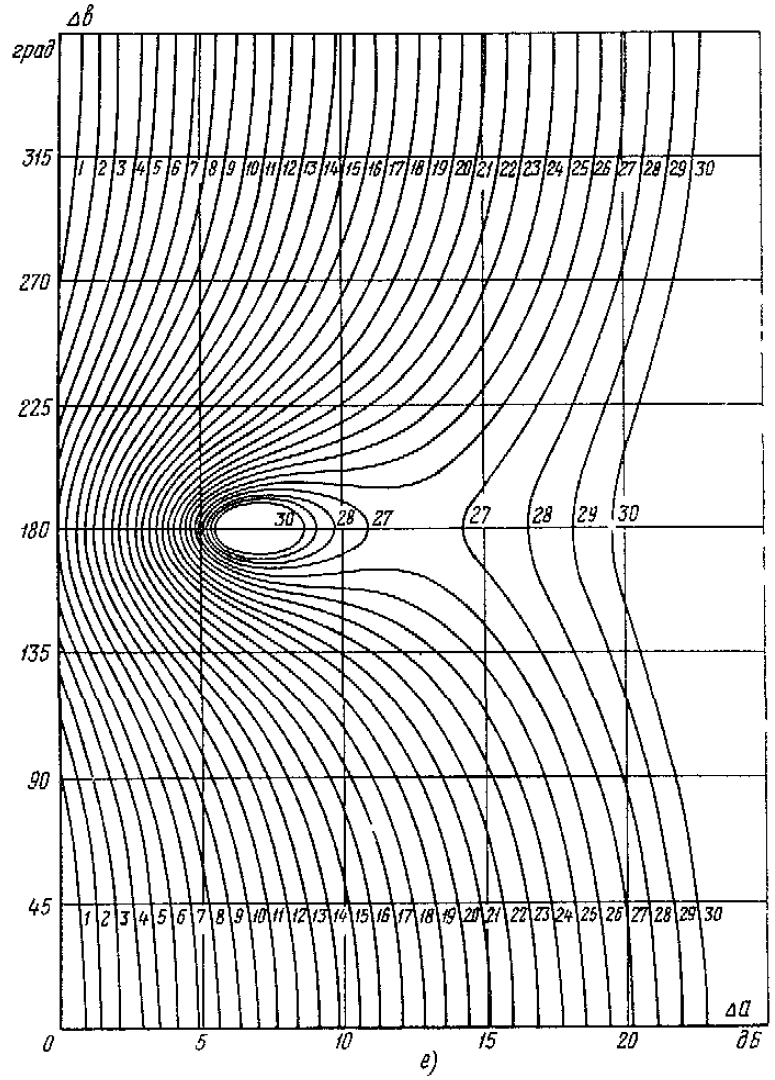


Рис.3.4. Номограммы для определения $a_{доп}$ в зависимости от Δa , $\Delta \delta$
Линии номограммы соответствуют одинаковым значениям $a_{доп}$. Цифры вблизи линий дают значения $a_{доп}$. Две транспозиции:
а – схема присоединения А/А (В/В); *б* – схема присоединения В/А;
в – схема присоединения А–В/А–В; *г* – схема присоединения В–С/А–В (А–В/А–С); *д* – схема присоединения С/С; *е* – схема присоединения А–С/А–С (В–С/В–С).

(Окончание рис.3.4 см. на обороте)



а)



е)

Окончание рис.3.4

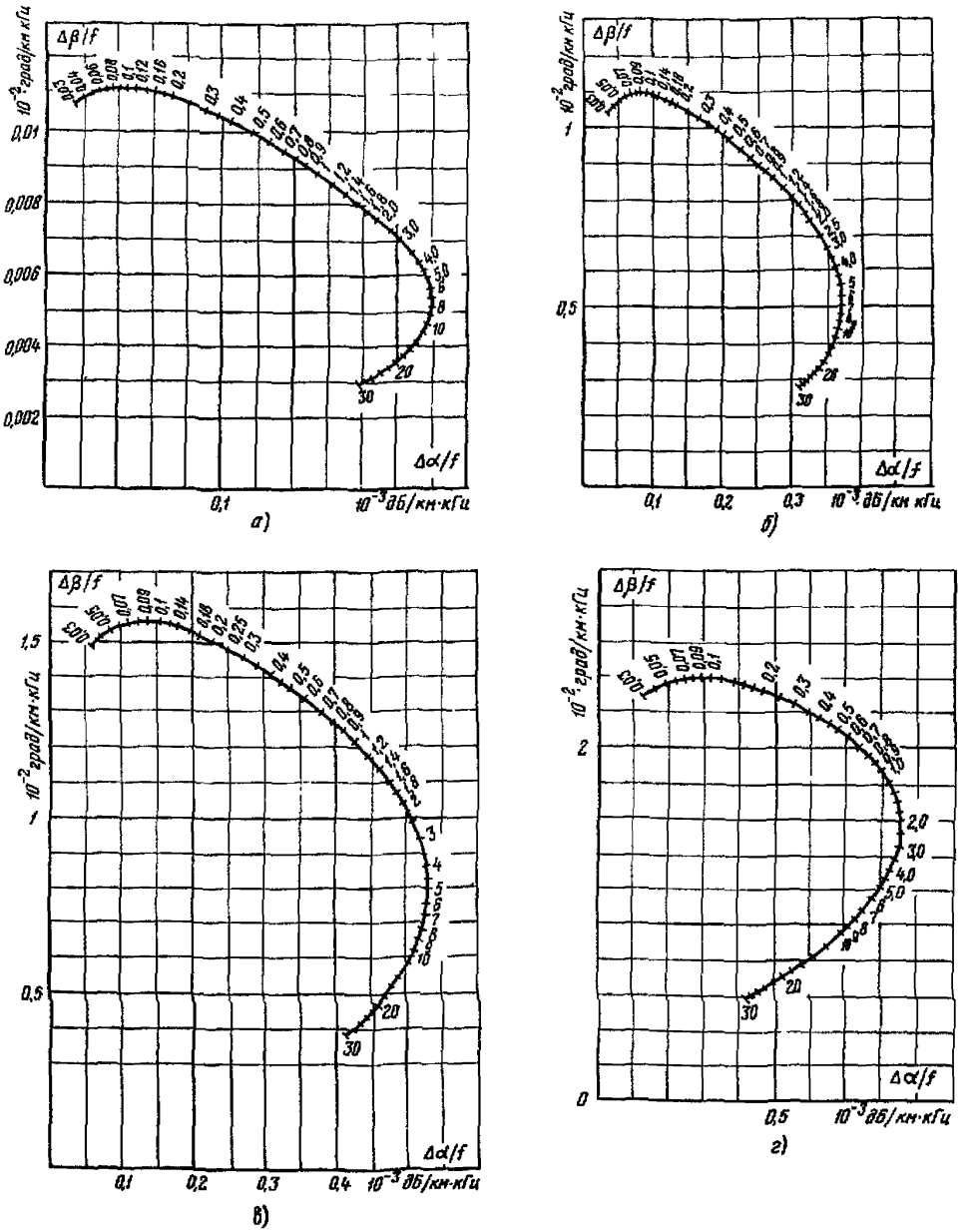
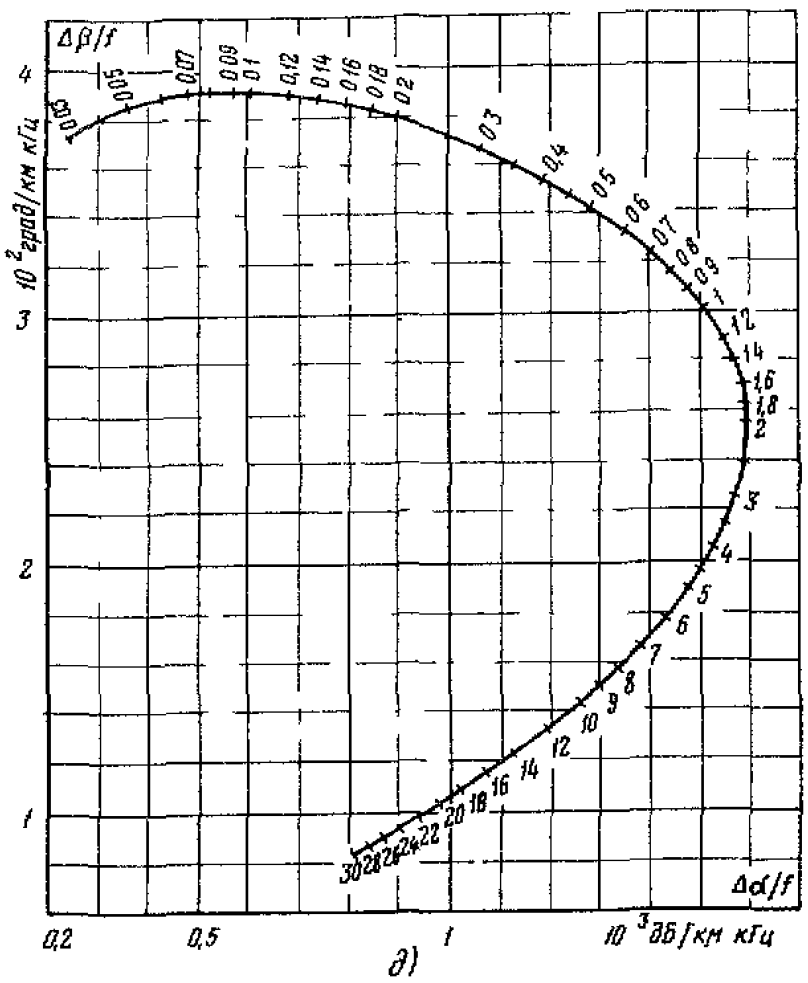


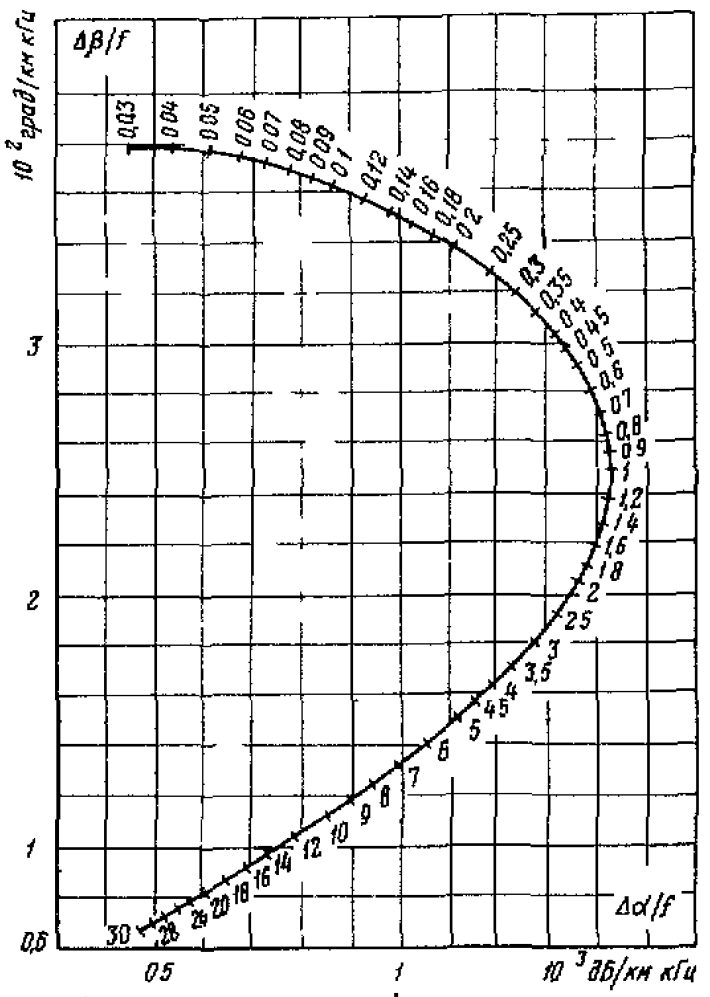
Рис.3.5. Номограммы для определения $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$. Цифры на кривой соответствуют значениям $f/\rho_з$ (кГц/Ом·м):

а – ВЛ 35 кВ (горизонтальное расположение проводов; *б* – ВЛ 110 кВ (горизонтальное расположение проводов); *в* – ВЛ 220 кВ (горизонтальное расположение проводов); *г* – ВЛ 330 кВ (горизонтальное расположение проводов); *д* – ВЛ 500 кВ (горизонтальное расположение проводов); *е* – ВЛ 750 кВ с опорами ПН-750-1; *ж* – ВЛ 750 кВ с опорами П1-750 и П5-750; *з* – ВЛ 110 кВ (железобетонные опоры, треугольное расположение проводов); *и* – ВЛ 110 кВ (стальные опоры, треугольное расположение проводов); *к* – ВЛ 220 кВ (треугольное расположение проводов; стальные опоры на оттяжках); *л* – ВЛ 220 кВ (железобетонные опоры, треугольные, свободностоящие); *м* – ВЛ 330 кВ (треугольное расположение проводов).

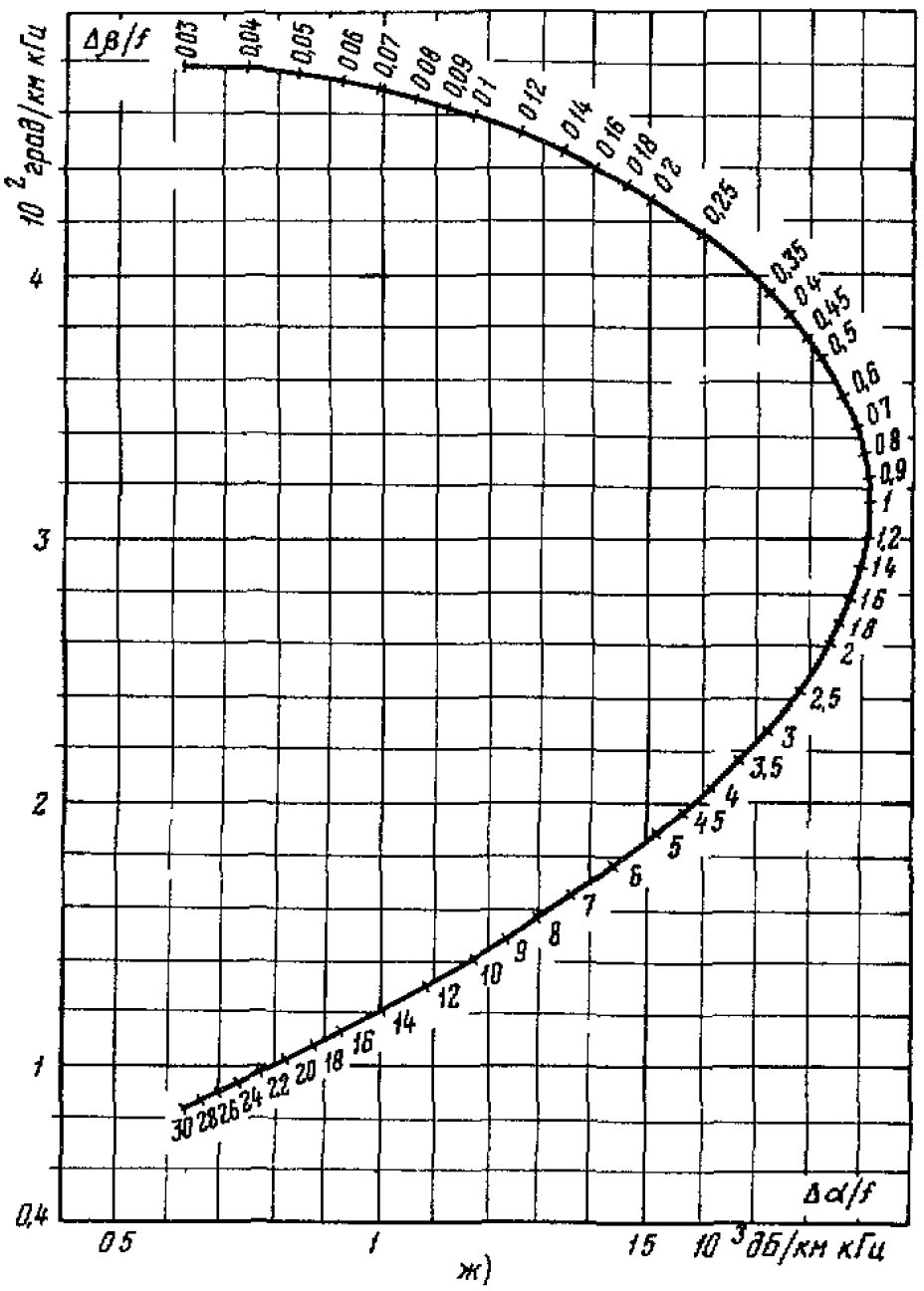
Продолжение рис.3.5 см. на обороте



д)

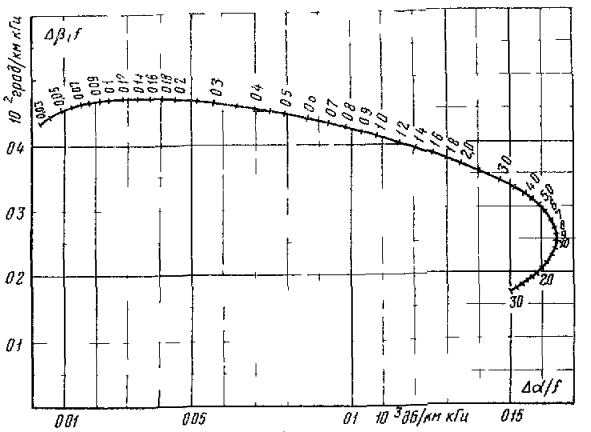


е)

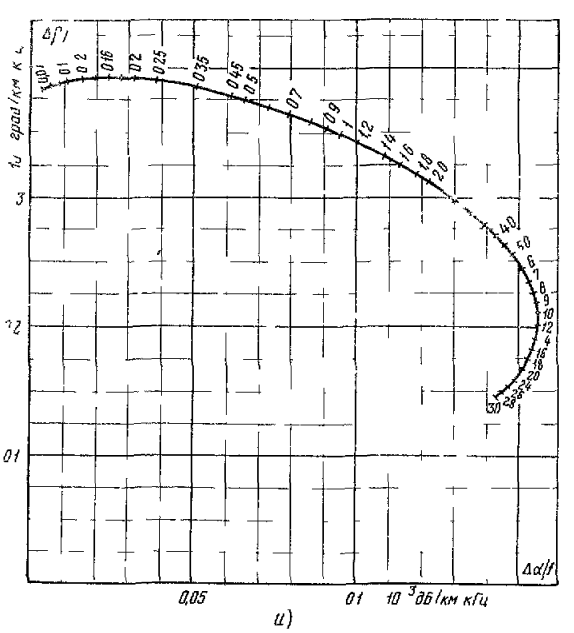


ж)

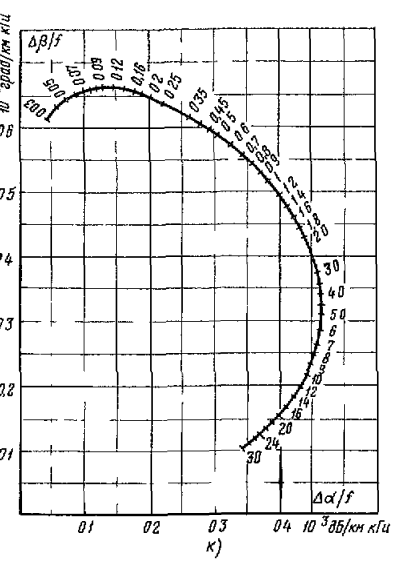
Продолжение рис 3 5



з)

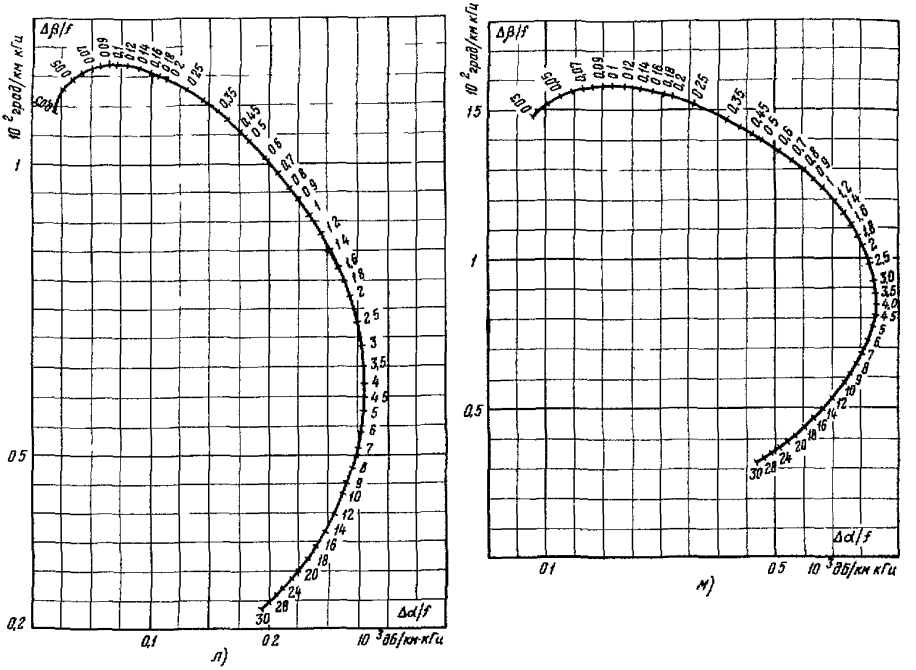


и)



к)

Продолжение рис.3 5



Окончание рис.3.5

Таблица 3.I3

Значения коэффициентов m в формуле (3.I5) для транспонированной ВЛ со стандартным циклом транспозиции

Расположение проводов ВЛ	$U_{ВЛ}$ кВ	Значения m при схемах присоединения (согласно табл.3.I2)	
		№ I-4, 7-I2, I4	№ 5, 6, I3, I5
Горизонтальное	750	250	75
	500	250	75
	330	450	I50
	220	700	250
Треугольное	330	700	250
	220	I500	450

3.2.2. Линейные тракты по изолированным грозозащитным тросам

3.2.2.1*. Собственное затухание линейного тракта по изолированному одиночному грозозащитному тросу ВЛ 220 кВ (рис.3.6,*а*) определяется по формуле (3.9), в которой α_S - коэффициент затухания модальной составляющей трос-провода (обозначается $\alpha_{тр}$). Значение коэффициента затухания $\alpha_{тр}$ в диапазоне частот до 300 кГц вычисляется по формуле

$$\alpha_{тр} = K_{тр}\sqrt{f} \qquad (3.29)$$

Значение коэффициента $K_{тр}$ для тросов различных марок и значения $a_{доп}$ в (3.9) для рассматриваемого случая приведены в табл.3.14.

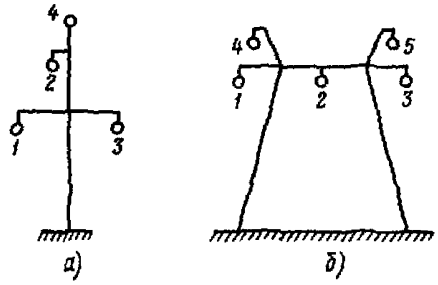


Рис.3.6. Эскизы расположения тросов для ВЛ 220 кВ (*а*) и ВЛ 500-750 кВ (*б*)

Таблица 3.14

Значения коэффициента $K_{тр}$ и $a_{доп}$ в (3.29) и (3.9) для трактов по грозозащитному тросу ВЛ 220 кВ

Марка троса	$K_{тр}$ дБ/(кГц$^{1/2}$ км)	$a_{доп}$ дБ
ПБСА-120	$4{,}5\cdot10^{-3}$	2,0
АЖС-70/39	$6{,}7\cdot10^{-3}$	2,0
АС 70/72	$8{,}3\cdot10^{-3}$	2,0
С-70 (стальной)	$51\cdot10^{-3}$	4,0

В диапазоне частот выше 300 кГц расчет собственного затухания тракта должен осуществляться на ЭВМ по программе "Тракт".

3.2.2.2*. Собственное затухание линейного тракта по изолированным грозозащитным тросам ВЛ 500-750 кВ с горизонтальным расположением фаз (рис.3.6,*б*) определяется по формуле (3.9), в которой ℓ - длина линии между концами линейного тракта, а значение α_S для тросов АС 70/72 принимается равным

$$\alpha_S = \alpha_{тр} = 8\cdot10^{-3}\sqrt{f} \qquad (3.30)$$

Значение $a_{доп}$ в (3.9) определяется в зависимости от схемы присоединения к тросам:

а) трос-земля

$$a_{доп} = 7 + n_{тр\,ф}\,, \qquad (3.31)$$

где $n_{тр\,ф}$ - число транспозиций фаз;

б) два троса-земля

$$a_{доп} = 2 + n_{тр\,ф}\,, \qquad (3.32)$$

в) трос-трос.

$a_{доп}$ определяется по данным табл.3.15 в зависимости от удельного сопротивления земли при условии, что шаг транспозиции тросов выбирается не более указанного в этой же таблице.

3.2.2.3*. При организации трактов по грозозащитным тросам следует избегать использования в качестве рабочих частот каналов связи частоты в пределах:

$$\left[300/(2\ell_{пр})+25\right] \text{ кГц}, \qquad (3.33)$$

где $\ell_{пр}$ - средняя длина пролета между смежными опорами, км.

В этом диапазоне частот затухание линейного тракта может оказаться значительно больше затухания, определенного по пп.3.2.2.1 и 3.2.2.2.

Таблица 3.15

Значения $a_{доп}$ в формуле (3.9) для линейного тракта с присоединением трос–трос при условии транспозиции тросов с шагом, не превышающим максимально допустимый $l_{макс}$

Наивысшая частота передаваемого спектра, кГц	Максимальная длина усилительного участка, км	$U_{вл}$ кВ	Значения $l_{макс}$ (км) при $\rho_з$, Ом·м			Значения $a_{доп}$ (дБ) при $\rho_з$, Ом·м		
			30	100	300	30	100	300
150	180	750	36	22	16	4	6	7
		500	45	30	22	2	5	6
300	90	750	22	13	9	0	3	5
		500	23	18	13	3	4	6

Примечание. Для условий, отличных от оговоренных в табл.3.15, затухания линейного тракта следует определять на ЭВМ по программе, реализующей точные методы расчета.

3.2.2.4. Собственное затухание внутритросового (ВТ) линейного тракта с присоединением по схеме провод–провод расщепленного проводящего троса с изолирующими распорками определяется по формуле (3.9) при $a_{доп} = 0$ и $\alpha_S = \alpha_{ВТ}$. При этом коэффициент затухания внутритросовой моды $\alpha_{ВТ}$ определяется как

$$\alpha_{ВТ} = K_{ВТ}\sqrt{f} \qquad (3.34)$$

Значение коэффициента $K_{ВТ}$ принимается равным:

а) для троса АС 70/72

$$K_{ВТ} = 1{,}17 \cdot 10^{-2} \text{ дБ/(кГц}^{1/2}\text{км)};$$

б) для троса ПБСА-120

$$K_{ВТ} = 0{,}54 \cdot 10^{-2} \text{ дБ/(кГц}^{1/2}\text{ км)};$$

в) для троса АЖС 70/39

$$K_{ВТ} = 1{,}04 \cdot 10^{-2} \text{ дБ/(кГц}^{1/2}\text{)}.$$

3.2.2.5. Расчетное характеристическое сопротивление линейного тракта при присоединении к изолированным грозозащитным тросам принимается равным:

Схема присоединения	Трос–земля	Два троса–земля	Трос–трос	ВТ тракт
$Z_{лт}$ Ом....	550	275	960	480

3.2.3*. Затухание линейного тракта по фазам с учетом повреждения фаз и тросов

Затухание линейного тракта по фазам поврежденной ВЛ находится по (3.9), в которой $a_{доп}$ определяется с учетом повреждения

$$a_{доп} = a_{доп\,1} + a_{повр}, \qquad (3.35)$$

где $a_{доп\,1}$ определяется для неповрежденной ВЛ согласно пп.3.1, 3.2.1 и 3.2.2,

$a_{повр}$ – дополнительное затухание, обусловленное повреждением

$$a_{повр} \approx 20\lg\left|1/T_{повр}\right|, \qquad (3.36)$$

где $T_{повр}$ – коэффициент передачи через место повреждения напряжения падающей волны основной для данного тракта модальной составляющей.

Повреждения на проводящих тросах ВЛ практически не оказывают влияние на затухание трактов по фазам. Поэтому рассмотрим определение значения $T_{повр}$ только для повреждений фаз ВЛ.

3.2.3.1*. Значения сопротивлений между фазами и между фазами и землей в месте повреждения, необходимые для расчета $T_{повр}$, определяются в зависимости от вида КЗ и места его расположения по формулам:

$$\left.\begin{aligned} Z_{шз} &= R_{шз} + j\,2\pi f L_{шз}\,10^{3}, \\ Z_{ш} &= j\,2\pi f L_{ш}\,10^{3}, \end{aligned}\right\} \qquad (3.37)$$

где $R_{шз}$ – переходное активное сопротивление на землю. При КЗ на опоре принимается обычно равным 10 Ом (сопротивление заземления опоры);

$L_{ш.з}$, $L_ш$ – индуктивность закорачивающей перемычки соответственно между фазой и землей и между фазами, Г.

Значения $L_{ш.з}$ определяются по формулам:

а) КЗ на конденсаторе связи

$$L_{ш.з} = 0{,}5h10^{-7}, \qquad (3.38)$$

где h – высота точки подключения конденсатора связи, м;

б) КЗ на опоре

$$L_{ш.з} = (K-0{,}15)h_{оп}10^{-6}, \qquad (3.39)$$

где $h_{оп}$ – высота опоры, м;

K = 0,55 и 0,7 соответственно для железобетонных и металлических опор башенного типа;

в) КЗ в пролете

$$L_{ш.з} = 2\cdot10^{-7}h\left[\ell n(2h/r_з)-1{,}06\right], \qquad (3.40)$$

где h – высота поврежденного провода над землей, м;

$r_з$ – радиус заземляющей перемычки, м.

Для дугового КЗ

$$r_з \approx 10^{-2}\sqrt{I_{КЗ}/(400\pi)}, \qquad (3.41)$$

где $I_{КЗ}$ – ток КЗ, А.

Значения $L_ш$ определяются по формулам:

а) КЗ в точке подключения конденсатора связи

$$L_ш = 0{,}25\cdot10^{-7}S, \qquad (3.42)$$

где S – расстояние между замыкающимися фазами;

б) КЗ в точке, удаленной на 30 м и более от места подключения конденсатора связи

$$L_ш = 2\cdot10^{-7}S\left[\ell n(S/r_з)-1{,}06\right]. \qquad (3.43)$$

3.2.3.2. При трехфазном КЗ значение $a_{повр}$ практически не зависит от схемы присоединения к ВЛ, схемы транспозиции ВЛ и места расположения КЗ на длине линии. При этом значение $1/T_{повр}$ в (3.36) может быть определено как:

а) КЗ между каждой из фаз и землей (рис.3.7,а)

$$1/T_{повр} = 1 + 1/2\,q_{ш.з}; \qquad (3.44)$$

б) КЗ между фазами и одной из фаз на землю (рис.3.7,б)

$$1/T_{повр} = 1+3/2\,q_ш+2/(q_в+6q_{ш.з}). \qquad (3.45)$$

В (3.44) и (3.45):

$$\left.\begin{aligned} q_в &= Z_{Bв}/Z_{Bф} \approx 1{,}7;\\ q_ш &= K_4 Z_ш / Z_{Bф};\\ q_{ш.з} &= K_4 Z_{ш.з} / Z_{Bф} \end{aligned}\right\} \qquad (3.46)$$

3.2.3.3. При двухфазных и однофазных КЗ значение $a_{повр}$ в значительной степени зависит от места расположения повреждения, схемы транспозиции ВЛ и схемы присоединения к ВЛ.

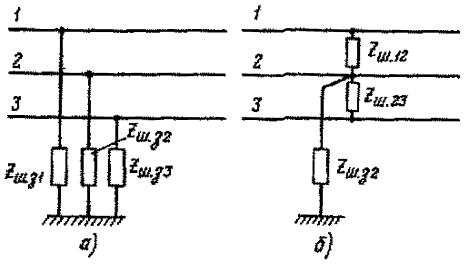


Рис.3.7. Эскизы к трехфазным КЗ: *а* – раздельное КЗ трех фаз; *б* – КЗ между фазами и одной из фаз на землю

3.2.3.4*. Место повреждения считается расположенным вблизи одного из концов ВЛ, когда расстояние от точки подключения конденсатора связи (от одного из концов линейного тракта) до места повреждения не превышает длину $\ell_п$, определенную как:

для схемы присоединения фаза–земля

$$\ell_п = 30/f; \qquad (3.47)$$

для схемы присоединения фаза–фаза

$$\ell_п = 900/f. \qquad (3.48)$$

3.2.3.4.1. Если место повреждения располагается вблизи одного из концов линейного тракта [(3.47) и (3.48)], то можно не считаться с изменением фазовых соотношений между напряжениями модальных составляющих на приемном конце линейного тракта. При этом за-

тухание $a_{повр}$ не зависит от схемы транспозиции ВЛ.

3.2.3.4 2. Значение $1/T_{повр}$ в (3.36) для двухфазных и однофазных повреждений вблизи концов линейного тракта транспонированных и нетранспонированных ВЛ определяется согласно данным *табл.*3.I6.

с горизонтальным и треугольным расположением проводов, при использовании оптимальных схем присоединения (№ I,2,3 и 7,8,9 табл.3.9) находится по формуле (3.36), в которой $1/T_{повр}$ определяется

для схемы присоединения фаза-земля - по данным *табл.*3.I7. В этой же таблице приве-

Таблица 3.I6

Значения коэффициента $1/T_{повр}$ и затухания $a_{повр}$ при повреждениях фаз вблизи одного из концов ВЛ

Вид повреждения	Формулы для вычисления $1/T_{повр}$ и значения $a_{повр}$ для схемы присоединения			
	фаза-земля		фаза-фаза	
	$1/T_{повр}$	$a_{повр}$ дБ	$1/T_{повр}$	$a_{повр}$ дБ
КЗ на землю рабочей фазы	$1+2/q'_{шз}$ *	I9,5**	2	6
Обрыв рабочей фазы	∞	∞	2	6
КЗ нерабочей фазы	0	0	0	0
КЗ двух рабочих фаз без земли	Не рассматривается		$1 + 1/(2q'_{ш})$	26**
КЗ двух рабочих фаз с заземлением одной из них на землю	Не рассматривается		$1 + 1/(2q'_{ш}) + 1/(1+8q'_{шз})$ *,**	26**

* $q'_{шз} = K_4 Z_{шз}/450$

** $Z_ш = j\,20$ Ом, $Z_{шз} = (10+j\,20)$ Ом

*** $q'_ш = K_4 Z_ш/760$, $q'_{шз} = K_4 Z_{шз}/760$

3.2.3.5*. Место повреждения считается удаленным от концов ВЛ, когда расстояние от точки повреждения до конденсатора связи (от одного из концов линейного тракта до места повреждения) не меньше длины $\ell_п$, определяемой из выражения:

для схемы присоединения фаза-земля

$$\ell_п = 300/f, \qquad (3.49)$$

для схемы присоединения фаза-фаза

$$\ell_п = 2000/f \qquad (3.50)$$

3.2.3.6*. Значение $a_{повр}$, обусловленное однофазными и двухфазными повреждениями, удаленными от концов нетранспонированных ВЛ

дены расчетные значения $a_{повр}$;

для схемы присоединения фаза-фаза - по данным табл.3.I6, так как для этой схемы присоединения затухание, обусловленное повреждениями, практически не зависит от места расположения повреждения.

Примечания: I. Для определения затухания, обусловленного повреждением при неоптимальных схемах присоединения к нетранспонированным линиям, можно воспользоваться приведенными выше формулами при условии соблюдения ограничений п.3.2.I.8. -2. Приведенные выше формулы могут быть использованы при любой схеме присоединения к ВЛ при условии, что линия может в расчетах приниматься симметричной согласно п.3.I.I.

Таблица 3.17

Значения коэффициента $1/T_{повр}$ и затухания $a_{повр}$ при повреждении фаз вдали от концов ВЛ для присоединения к ВЛ по схеме фаза-земля

Вид повреждения	Формула для вычисления $1/T_{повр}$*	Расчетные значения $a_{повр}$, дБ
КЗ на землю рабочей фазы	$1 + 2/(q_0 + q_{шз})$	7,0**
Введение в рабочую фазу сопротивления $Z_п$	$1 + 2q_0 q_п/(6q_0 + q_п)$	13***
Двухфазное КЗ без земли с охватом рабочей фазы	$1 + 3/(1 + 4q_ш)$	12**
Двухфазное КЗ между рабочей и нерабочей фазами с заземлением рабочей фазы	$1 + 3/(1 + 4q_ш) + 2/(q_0 + 6q_{шз})$	14**

*Значения $q_ш$, $q_{шз}$ и q_0 определяются по (3.46). Значение $q_п = K_4 Z_п / Z_{вф}$

**Значение $a_{повр}$ определено для худшего случая $q_{шз} = q_ш = 0$.

***Значение $a_{повр}$ определено для худшего случая $q_п = \infty$.

3.2.3.7*. Значение $a_{повр}$, обусловленное однофазными повреждениями, удаленными от концов (см.п.3.2.3.5) транспонированных ВЛ при условии, что соблюдаются ограничения п.3.2.1.14, определяется согласно п.3.2.3.6.

3.2.3.8*. Значение $a_{повр}$, обусловленное двухфазными КЗ, удаленными от концов транспонированной линии, в значительной степени изменяется при перемещении места КЗ вдоль линии. Максимальное значение этой величины много больше значений, определенных согласно пп.3.2.3.4 и 3.2.3.6, что обуславливается влиянием напряжений междуфазных модальных составляющих, возникающих в месте повреждения.

Значения $a_{доп\ макс}$, вычисленные с учетом влияния повреждения, могут определяться по номограммам, дающим зависимость $a_{доп\ макс} = \varphi(\Delta a, \Delta b)$, в которых Δa и Δb определяются по (3.24).

На рис.3.8,*а, б* приведены такие номограммы для оптимальных схем присоединения фаза А – земля (фаза В – земля) и фаза А – фаза В (см. рис.2.2, номера схем 1 и 3 табл.3.12). Значение $a_{повр\ макс}$ для двухфазных КЗ может быть при необходимости определено как разность значений $a_{доп\ макс}$ и $a_{доп}$, определенных по соответствующим номограммам рис.3.8 и 3.4.

3.2.4. Затухание линейного тракта по изолированным грозозащитным тросам ВЛ 500–750 кВ с учетом повреждения фаз и тросов

Затухание линейного тракта по проводящим тросам с учетом повреждения фаз и тросов определяется по формуле (3.9) с учетом (3.35) и (3.36). При этом α_S и $a_{доп}$ в (3.9) и (3.35) определяются в соответствии с указанием п.3.2.2, а значение $a_{повр}(1/T_{повр})$ в (3.35) и (3.36) определяется в зависимости от схемы присоединения к тросам, вида повреждения и места его расположения.

3.2.4.1. Схема присоединения трос-трос:

а) замыкание на землю двух тросов на опору в произвольной точке линии

$$1/T_{повр} = 1 + 1/2q_ш; \qquad (3.51)$$

$$q_ш = Z_ш / Z_{б\,тр}. \qquad (3.52)$$

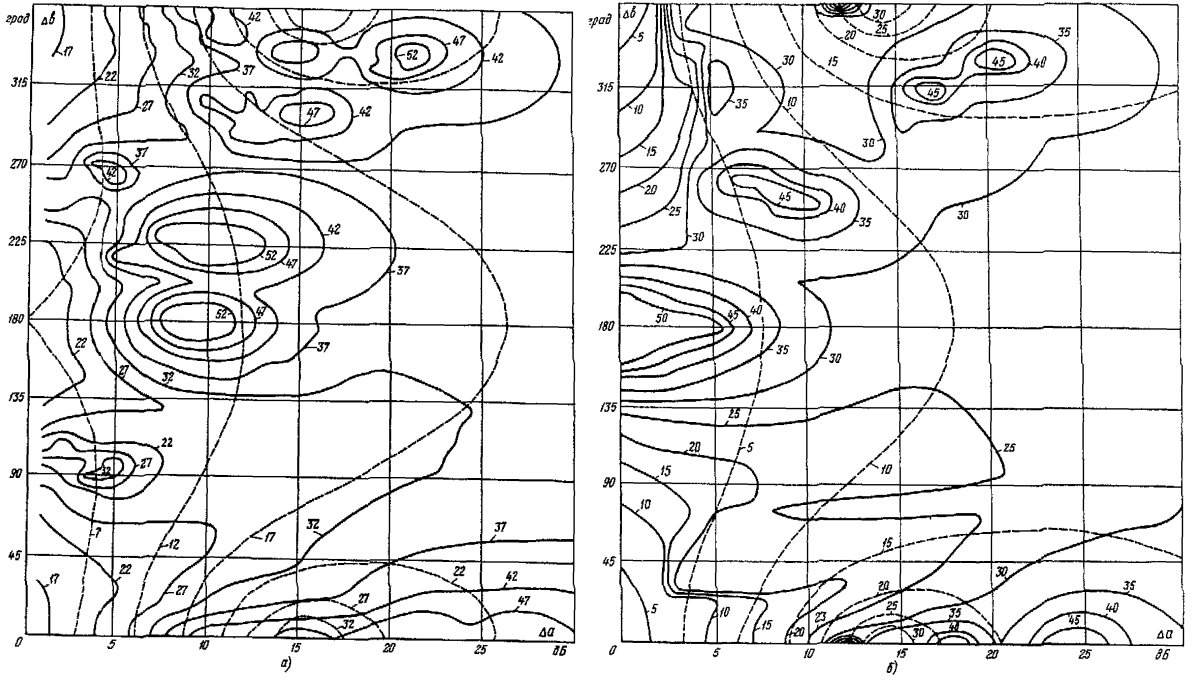


Рис.3.8. Номограммы $\alpha_{доп\ макс}=\varphi(\Delta\alpha,\Delta\delta)$:
а- схема фаза А - земля; б- схема фаза А - фаза В;
— — — для нормальных условий без КЗ;
——— для двухфазных КЗ.
Цифры вблизи линий - значения $\alpha_{доп\ макс}$ для двухфазных КЗ и нормальных условий

при этом $Z_ш$ - сопротивление в месте повреждения, включенное между тросами, определяемое по выражению (3.37) с учетом (3.43), в котором S - расстояние между тросами, $r_э$ - эквивалентный радиус траверсы опоры;

$Z_{в\,тр}$ = 480 Ом - волновое сопротивление троса для модальной составляющей трос-трос.

Значения эквивалентного радиуса траверсы $r_э$ приблизительно определяется как $P/8$, где P - периметр поперечного сечения траверсы.

Примерное значение $a_{повр}$ для линейного тракта по схеме трос-трос ВЛ 750 кВ при частоте (f) составляет

$$a_{повр} \approx 27 - 20\lg(0{,}01f);$$

б) замыкание на землю одного троса на опору в произвольной точке линии

$$1/T_{повр} = 2{,}0;\ a_{повр} = 6 \text{ дБ}.$$

3.2.4.2. Схема присоединения два троса-земля:

а) замыкание двух тросов на опору вблизи концов линейного тракта - условие (3.47).

Значение $1/T_{повр}$ определяется по формулам (3.51) и (3.52), в которых вместо $Z_ш$ подставляется сопротивление $Z_{ш\,э}$, вычисляемое по (3.37), с учетом (3.38) и (3.39), а значение $Z_{в\,тр}$ принимается равным 275 Ом.

Примерное значение $a_{повр}$ для рассматриваемого случая для ВЛ 750 кВ при сопротивлении заземления опоры $R_з$ = 10 Ом составляет

$$a_{повр} \approx 17 \text{ дБ};$$

б) замыкание двух тросов на опору вдали от концов линейного тракта - условие (3.49)

$$1/T_{повр} = 2{,}0;\ a_{повр} = 6 \text{ дБ};$$

в) замыкание одного троса на опору вблизи одного из концов линейного тракта при условии подключения к тросам через одно устройство присоединения (оба троса соединены один с другим перемычкой).

Определение $a_{повр}$ производится согласно п.3.2.4.2,а;

г) замыкание одного троса на опору вблизи одного из концов линейного тракта при условии подключения к тросам через два раздельных устройства присоединения (оба троса не соединяются специально один с другим).

В этом случае $a_{повр}$ = 6 дБ;

д) замыкание одного троса на опору вдали от концов линейного тракта.

В этом случае $a_{повр}$ = 6 дБ

3.2.4.3. Внутритросовое присоединение.

При замыкании одной составляющей расщепленного троса на опору в произвольной части линии

$$a_{повр} \leqslant 4 \text{ дБ}.$$

При замыкании обеих составляющих расщепленного троса на опору в произвольной части линии $a_{повр}$ определяется по п.3.2.4.1,а при условии, что $Z_{вт}$ = 240 Ом, а $Z_ш$ определяется по (3.37) с учетом (3.43), в котором S - расстояние между составляющими расщепленного троса (обычно 0,4 м), а $r_э$ - радиус закорачивающей перемычки. Как правило, в диапазоне 30-140 кГц значение $a_{повр}$ в этом случае превышает 40 дБ.

3.2.5. Затухание линейного тракта с учетом гололеда, изморози и дождя

3.2.5.1*. Влияние гололеда и изморози на затухание линейного тракта по фазным проводам и внутритросового тракта учитывается увеличением значения затухания, определенного согласно пп.3.2.1-3.2.3, на значения $\Delta a_{гол}$ и $\Delta a_{изм}$, определяемые как:

$$\left.\begin{aligned} \Delta a_{гол} &= \Delta\alpha_{гол}\,\ell_{гол}, \\ \Delta a_{изм} &= \Delta\alpha_{изм}\,\ell_{изм} \end{aligned}\right\} \qquad (3.53)$$

Для трактов по тросам со схемами присоединения трос-земля, трос-трос или два троса-земля дополнительные затухания $\Delta a_{гол}$ и $\Delta a_{изм}$ должны определяться расчетом на ЭВМ по программе "Тракт".

При отсутствии более точных данных о длине участка ВЛ, которая может быть покрыта гололедом или изморозью, значение $\ell_{гол}$ принимается равным 30 км (если длина линии меньше 30 км, то $\ell_{гол} = \ell_{вл}$), а значение $\ell_{изм}$ принимается равным длине усилительного участка канала связи или длине линии.

3.2.5.2*. Значение $\Delta\alpha_{гол}$ определяется по формуле

$$\Delta\alpha_{гол} = \frac{K_з K_{сх} m_{гол}}{1 - 0{,}38 K_з K_{сх} \lg(1 + 2d_л/d_{пр})} \times \lg(1 + 2d_л/d_{пр}), \qquad (3.54)$$

где $K_з$ - коэффициент, значения которого даны в табл.3.4 и которые для внутрифазного и внутритро-

сового трактов принимаются равными I,

значения $K_{сх}$ принимаются в соответствии с данными табл.3.I8,

$m_{гол}$ - коэффициент, определяемый по рис.3.9,

$d_л$ - толщина расчетной стенки гололеда, см,

$d_{пр}$ - диаметр провода, см (см.табл.3.5).

Таблица 3.I8

Значения $K_{сх}$ в (3.54)

Значения $K_{сх}$		
Фаза-земля, фаза-фаза	Внутрифазный тракт	Внутритросовый тракт
I	I,8	I,5

3.2.5.3*. Значение $\Delta\alpha_{изм}$ при равных стенках гололеда и изморози принимается равной

$$\Delta\alpha_{изм} = 0{,}5\,\Delta\alpha_{гол} \qquad (3.55).$$

Данные о толщине стенки изморози следует брать по материалам метеостанций, расположенных по трассе ВЛ.

3.2.5.4*. Влияние дождя практически оказывается только на затухании внутритросовых и внутрифазных трактов. Дополнительное затухание от сильного дождя приближенно определяется как

$$\Delta a_д = \Delta\alpha_д\, \ell_д\,, \qquad (3.56)$$

$$\Delta\alpha_д = 2{,}9\cdot I0^{-4} f\,, \qquad (3.57)$$

где $\ell_д$ - длина линии, находящейся под сильным дождем (обычно $\ell_д \leqslant 30$ км).

3.3. Параметры линейного тракта с ответвлениями

Затухание линейного тракта с ответвлением от ВЛ определяется по формуле (3.9), в которой значение $a_{доп}$ определяется с учетом влияния ответвления

$$a_{доп} = a_{доп\,1} + a_{отв}\,, \qquad (3.58)$$

где $a_{доп\,1}$ - определяется для ВЛ без учета ответвления согласно пп.3.I.5, 3.2.I и 3.2.2;

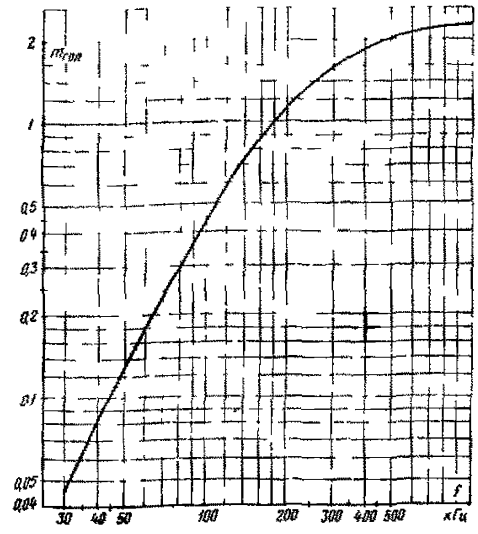


Рис.3.9. Зависимость коэффициента $m_{гол}$ от частоты

$a_{отв}$ - дополнительное затухание, обусловленное ответвлением

$$a_{отв} = 20\lg\left|1/T_{отв}\right|, \qquad (3.59)$$

где $T_{отв}$ - коэффициент передачи через место ответвления напряжения падающей волны основной для данного тракта модальной составляющей.

Значение $T_{отв}$ зависит от схемы обработки ответвления и от схемы транспозиции ВЛ.

3.3.I*. Затухание, вносимое в сквозной линейный тракт по фазным проводам нетранспонированной ВЛ, не обработанным ни в начале, ни в конце коротким ответвлением ($\alpha_ф \ell_{отв} \leqslant$ I дБ), при условии, что входное сопротивление в конце ответвления чисто емкостное (рис.3.I0,$а$) определяется по (3.59), в котором

$$1/T_{отв} = \frac{3+e^{-2j\psi}}{2\left(1+e^{-2j\psi}\right)} = \left(1+j\,0{,}5\,tg\,\psi\right), \qquad (3.60)$$

$$\psi = \beta_ф \ell_{отв} - arc\,tg\left|\frac{K_4 X_{пс}}{380}\right| + \pi/2\,; \qquad (3.6I)$$

$$X_{пс} = 10^9/\left(2\pi f C_{пс}\right)\,, \qquad (3.62)$$

где K_4 – коэффициент согласно табл.3.4,
$C_{пс}$ – эквивалентная емкость подстанции, пФ.

не ответвления эти значения могут быть уточнены по формулам.

$$a_{отв\ макс} \approx 20 \lg \left[1 + 1/0{,}23 \alpha_ф \ell_{отв} \right]; \quad (3.67)$$

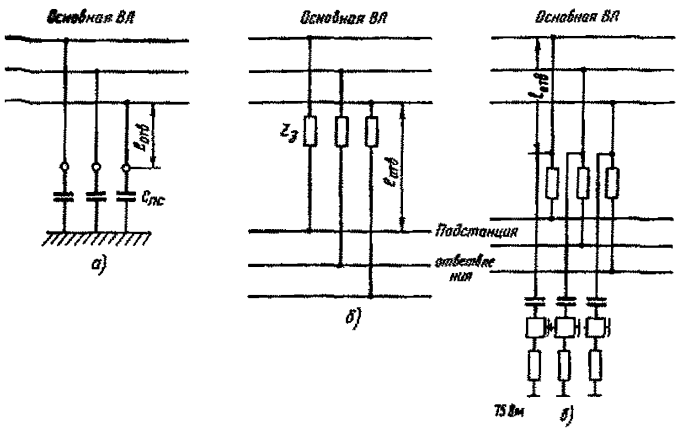


Рис.3.10. Примеры ответвления от ВЛ:
а – необработанное короткое ответвление; *б* – ответвление, обработанное в начале заградителем (общий случай обработки трех фаз); *в* – ответвление, обработанное в конце фильтрами присоединения и заградителями (общий случай обработки трех фаз)

Коэффициент отражения междуфазной волны напряжения от места включения ответвления вычисляется по формуле

$$K_{отв} = T_{отв} - 1 = - \frac{1 - e^{-2j\psi}}{3 + e^{-2j\psi}} . \quad (3.63)$$

Затухание $a_{отв}$ и коэффициент отражения $K_{отв}$ минимальны на частотах, при которых соблюдаются равенства:

$$\psi = K\pi \quad (K = 0,1,2,\ldots), \quad (3.64)$$

и максимальны на частотах, при которых соблюдаются равенства:

$$\psi = \pi/2 + K\pi \quad (K = 0,1,2,\ldots). \quad (3.65)$$

Изменение значений $a_{отв}$ и $K_{отв}$ от максимума до минимума происходит в полосе частот

$$\Delta f \approx 75/\ell_{отв} \quad (3.66)$$

Максимальные значения $a_{отв}$ и $K_{отв}$ при расчете без учета затухания междуфазной волны на длине ответвления по (3.60) и (3.63) получаются равными соответственно ∞ и -1. При учете затухания междуфазной волны на длине ответвления эти значения могут быть уточнены по формулам.

$$K_{отв\ макс} = - \frac{1 - 0{,}115 \alpha_ф \ell_{отв}}{1 + 0{,}115 \alpha_ф \ell_{отв}} . \quad (3.68)$$

3.3.2. Уменьшения затухания, вносимого в сквозной линейный тракт по фазам ответвлением от ВЛ, можно добиться, включая в место подключения ответвления к ВЛ заградители или на конце ответвления фильтры присоединения, нагруженные со стороны кабельного входа на сопротивления 75 Ом, и заградители. Фильтры присоединения и заградители устанавливаются на конце ответвления и в том случае, когда на подстанцию, включенную на конце ответвления, необходимо организовать канал ВЧ связи.

3.3.3*. Максимальное затухание, вносимое в сквозной линейный тракт по фазным проводам нетранспонированной ВЛ ответвлением, обработанным в начале заградителями (см.рис.3.10,*б*) определяется по (3.59), в котором

$$1/T_{отв} = 1 + 1/\xi . \quad (3.69)$$

Формулы для определения значения коэффициента ξ приведены в табл.3.19.

Таблица 3.19

Формулы для определения коэффициента ξ в формулах (3.69) и (3.70)

Схема присоединения к ВЛ	Фазы ответвления, в которые включены заградители	Формула для определения ξ*
Фаза-земля	Рабочая	$4q_з q_0/(2q_з+3q_0)$
	Рабочая и нерабочая	$(6q_з+4q_0q_з+5q_0)/(4+2q_з+3q_0+3q_0/q_з)$
	Все три фазы	$2q_з$
Фаза-фаза	Обе рабочие	$2q_з$

*$q_з = K_4 Z_з /380$, $q_0 = Z_{в0}/Z_{вф} \approx 1{,}7$; K_4 – по данным табл.3.4.

Значение максимального коэффициента отражения междуфазной волны напряжения от места включения ответвления определяется по формуле

$$K_{отв} = T_{отв} - 1 = -1/(1+\xi). \qquad (3.70).$$

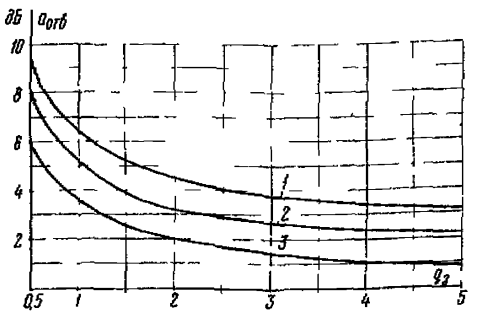
Заградители должны включаться в фазы ответвления возможно ближе к месту разветвления. Формулы табл.3.19 справедливы лишь в том случае, если заградитель включается от места разветвления на расстоянии, не превышающем

$$\ell_{доп} = 15/f_в . \qquad (3.71)$$

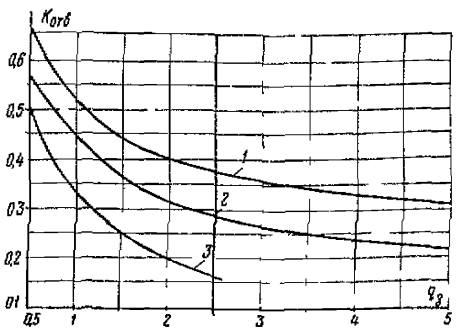
На рис.3.11 приведена зависимость затухания $a_{отв}$ и коэффициента $K_{отв}$ от значения $q_з$ для различных схем включения заградителей.

3.3.4. В случае, когда ВЛ является транспонированной со стандартной схемой транспозиции (см.рис.2.2), ответвление от ВЛ, не имеющее ВЧ обработки на его конце, рекомендуется обрабатывать в начале заградителями, подвешивая их как минимум в рабочую и среднюю фазы (если средняя фаза не является рабочей). При этом максимальные значения $a_{отв}$ и $K_{отв}$ могут определяться по формулам, приведенным в п.3.3.3, однако при необходимости более точные данные должны быть получены на основании расчетов на ЭВМ по программе, описанной в приложении 1.

3.3.5*. Затухание, вносимое в сквозной линейный тракт по фазным проводам нетранспонированной ВЛ ответвлением, обработанным на



а)



б)

Рис.3.11. Параметры, характеризующие ответвление:
а – затухание, вносимое ответвлением; б – максимальный коэффициент отражения.
Кривые 1,2,3 – заградители соответственно в одной, двух и трех фазах ответвления

конце [illegible] (рис.3.10,б), [illegible] (по 3.9), в котором значение $1/T_{отв}$ определяется следующим образом.

3.3.5.1. При соблюдении условия

$$\ell_{отв} > 19/f_в , \qquad (3.72)$$

где $f_в$ – верхняя граничная частота, передаваемая по сквозному тракту.

Значение $1/T_{отв}$ в (3.9) определяется по приближенной формуле

$$1/T_{отв} = \frac{3+K_ф \exp(-2\gamma_ф \ell_{отв})}{2\left[1+K_ф \exp(-2\gamma_ф \ell_{отв})\right]}$$

$$= 1 + 0{,}5\,cth(0{,}115a + j\psi); \qquad (3.73)$$

$$\gamma_ф = 0{,}115\alpha_ф + j\beta_ф , \qquad (3.74)$$

$$\left.\begin{aligned} a &= \alpha_ф \ell_{отв} + 10\lg|1/K_ф|, \\ \psi &= \beta_ф \ell_{отв} + 0{,}5\arg(1/K_ф), \end{aligned}\right\} \qquad (3.75)$$

где $K_ф$ – коэффициент отражения междуфазной волны напряжения от конца ответвления, определяемый по формулам, приведенным в п.3.1.7, или по п.3.2.1.17.

$$K_{отв} = T_{отв} - 1 = -\frac{1-K_ф e^{-2\gamma_ф \ell_{отв}}}{3+K_ф e^{-2\gamma_ф \ell_{отв}}} =$$

$$= \frac{1-e^{-2(0{,}115a+j\psi)}}{3+e^{-2(0{,}115a+j\psi)}} \qquad (3.76)$$

Затухание $a_{отв}$ и коэффициент отражения $K_{отв}$ минимальны при соблюдении равенства (3.64) и максимальны при соблюдении равенства (3.65). Если фазовый угол коэффициента отражения изменяется с частотой незначительно, то изменение $a_{отв}$ и $K_{отв}$ от минимальных до максимальных значений происходит практически с интервалом по частоте, приближенно определяемым по (3.66). Зависимость максимальных и минимальных значений $a_{отв}$ и $K_{отв}$ от параметра a (первая формула 3.75) приведена на рис.3.12.

3.3.5.2. При соблюдении условия

$$\ell_{отв} \leq 19/f_в \qquad (3.77)$$

значения $1/T_{отв}$ и $K_{отв}$ определяются по (3.69) и (3.70), в которых значение ξ определяется по формулам:

а) при присоединении устройств обработки и присоединения к одной (рабочей) фазе

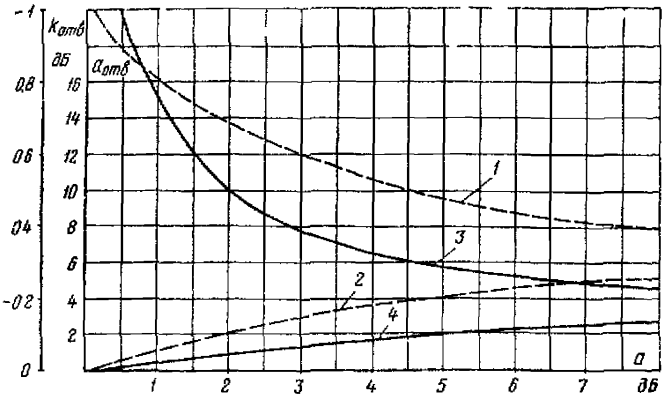


Рис.3.12. Зависимость экстремальных значений $K_{отв}$ (кривые 1 и 2) и $a_{отв}$ (кривые 3 и 4) от параметра a

Коэффициент отражения междуфазной волны напряжения от места подключения ответвления к основной линии определяется по формуле

$$\xi = \frac{2(q_{нр}q_о + 2q_р q_о + 6q_р q_{нр})}{2q_р + 4q_{нр} + 3q_о}, \qquad (3.78)$$

где все обозначения те же, что в (3.7);

б) при присоединении устройств обработки и присоединения к двум или трем фазам

$$\xi = q_p \qquad (3.79)$$

На рис.3.I3 приведены зависимости $a_{отв}$ и $K_{отв}$ от q_p и $q_{нр}$ для случая подключения устройств обработки и присоединения только к одной рабочей фазе.

3.3.6. Максимальное затухание, вносимое в сквозной линейный тракт по одиночному грозозащитному тросу ВЛ 220 кВ необработанным ответвлением на фазных проводах (при условии, что трос на ВЛ ответвления не соединяется с тросом на основной ВЛ), вычисляется по (3.9) с учетом (3.58), (3.59) и (3.69). При этом значение ξ определяется по формуле

$$\xi = 2q_0 \approx 3{,}4. \qquad (3.80)$$

Максимальный коэффициент отражения от точки разветвления ВЛ находится в этом случае (по 3.70) при ξ, определяемом (по 3.80). В этом случае $a_{отв\ макс} = 2{,}2$ дБ; $K_{отв\ макс} = -0{,}23$.

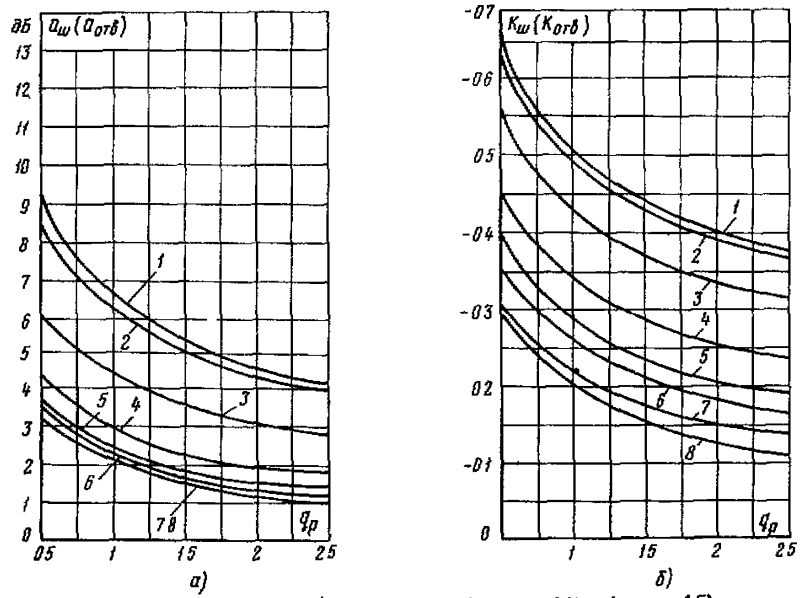


Рис.3.I3. Зависимость $a_ш/a_{отв}$ от q_p (а) и $K_ш$ ($K_{отв}$) от q_p (б) для трехфазного шунта при разных значениях $q_{нр}$:
I - $q_{нр} = 0$; 2 - $q_{нр} = -j0{,}I$; 3 - $q_{нр} = -j0{,}5$; 4 - $q_{нр} = -jI{,}0$;
5 - $q_{нр} = -jI{,}5$; 6 - $q_{нр} = -j2{,}0$; 7 - $q_{нр} = -j4{,}0$;
8 - $q_{нр} \to \infty$

3.4. Параметры линейного тракта с обходами

Затухание линейного тракта с обходом промежуточной подстанции определяется по формуле (3.9), в которой α_S - коэффициент затухания междуфазной модальной составляющей (обычно $S = I$ для присоединения по схеме присоединения средняя фаза-земля или верхняя фаза-земля ВЛ с горизонтальными или треугольным расположением проводов или $\alpha_S = \alpha_\phi$ для случая замены ВЛ моделью симметрич-

ной линии), ℓ - суммарная длина однородных участков ВЛ, входящих в тракт, а значение $a_{доп}$ определяется с учетом влияния обхода

$$a_{доп} = a_{доп\,I} + a_{обх} + \Delta a_{обх}, \qquad (3.8I)$$

где $a_{доп\,I}$ - определяется как сумма $a_{доп}$, вычисленных согласно пп.3.I.5, 3.2.I и 3.2.2 для участков ВЛ до и после обхода;

$a_{обх} + \Delta a_{обх}$ - дополнительное затухание, обусловленное обходом.

3.4.I. Значение $a_{обх}$ в (3.8I) вычисляется по формуле

$$a_{обх} = 2a_з + 2a_{ф.п} + a_ш + a_{ф.р} + a_{каб}, \quad (3.82)$$

где $a_з$, $a_{ф.п}$, $a_ш$, $a_{ф.р}$, $a_{каб}$ – затухание, вносимое заградителем; фильтром присоединения; шунтирующим действием аппаратуры, включенной в схеме обхода; разделительным фильтром и ВЧ кабелем (см.п.3.6).

3.4.2. Не рекомендуется, чтобы затухание $a_{обх}$, определенное по (3.82), превышало 9 дБ, а запирающее сопротивление заградителей в схеме обхода было меньше 500 Ом.

3.4.3*. *При соблюдении рекомендаций* п.3.4.2 значение $\Delta a_{обх}$ в (3.81) может быть принято равным:

для схемы фаза–фаза

$$\Delta a_{обх} = 0; \quad (3.83)$$

для схемы фаза–земля, если соблюдается хотя бы одно дополнительное условие: обход организован между ВЛ разных классов по напряжению; рабочая фаза в пункте обхода изменена; входное сопротивление подстанции не превышает 50 Ом

$$\Delta a_{обх} \leqslant 2{,}0 \text{ дБ}. \quad (3.84)$$

3.4.4*. Если при схеме присоединения к ВЛ фаза–земля условия п.3.4.3 не удовлетворяются, то значение $\Delta a_{обх}$ может значительно превышать 2 дБ. Граничные частоты $f_{гр1}$ и $f_{гр2}$ диапазонов частот, где затухание $\Delta a_{обх}$ превышает 2 дБ (зоны повышенного затухания), приближенно определяются по значениям граничных углов $\varphi_{гр1}$ и $\varphi_{гр2}$ которые вычисляются следующим образом.

3.4.4.1. Оба фильтра присоединения в схеме обхода имеют автотрансформаторную или трансформаторную схему с соединением обмоток трансформатора обоих фильтров, как показано на рис.3.14,*а*:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_{гр1} &= -0{,}5(\pi + \varphi_{каб}) + K\pi; \\ \varphi_{гр2} &= -0{,}5(\pi/2 + \varphi_{каб}) + K\pi; \end{aligned}\right\} (K=0,1) \quad (3.85)$$

$$\varphi_{каб} = 3{,}14 \cdot 10^{-2} f \ell_{каб}, \quad (3.86)$$

где $\ell_{каб}$ – длина ВЧ кабеля в схеме обхода.

3.4.4.2. Один из фильтров присоединения в схеме обхода имеет трансформаторную схему с соединением обмоток трансформатора, как показано на рис.3.14,*б*. При этом другой фильтр присоединения может иметь как трансформаторную, так и автотрансформаторную схему

$$\left.\begin{aligned} \varphi_{гр1} &= -0{,}5\varphi_{каб} - K\pi, \\ \varphi_{гр2} &= -0{,}5(-\pi/2 + \varphi_{каб}) - K\pi. \end{aligned}\right\} (K=0,1) \quad (3.87)$$

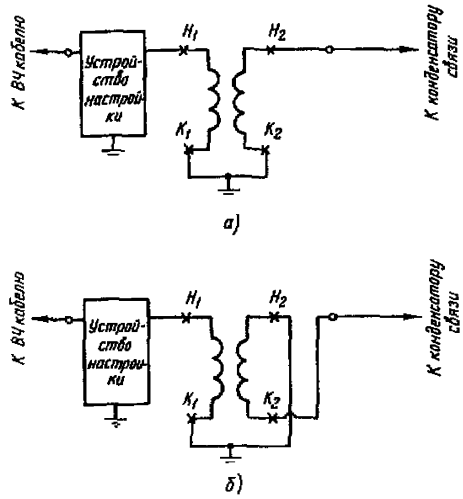


Рис.3.14. Схемы согласного (*а*) и встречного (*б*) соединений обмоток фильтров присоединения

3.4.5. Граничные частоты $f_{гр1}$ и $f_{гр2}$ вычисляются по формулам.

3.4.5.1. Фильтр присоединения ОФП-4 или ФП, схема которого показана на рис.3.15,*а*

$$f_{гр1,2} = \frac{f_н\sqrt{2}}{\sqrt{A - B\cos(\varphi_{гр1,2})}}, \quad (3.88)$$

$$\left.\begin{aligned} A &= 1 + \left(1 - Z_{фл}\, 2\pi f_н C_{кс}\, 10^{-9}\right)^2, \\ B &= 1 - \left(1 - Z_{фл}\, 2\pi f_н C_{кс}\, 10^{-9}\right)^2, \end{aligned}\right\} \quad (3.89)$$

где $f_н$ – нижняя граничная частота полосы пропускания фильтра присоединения, кГц;

$Z_{фл}$ – характеристическое сопротивление фильтра со стороны линии, Ом;

$C_{кс}$ – емкость конденсатора связи, пФ.

При расчете следует помнить, что углы $\varphi_{гр1,2}$ для схемы фильтра по рис.3.15,*а*

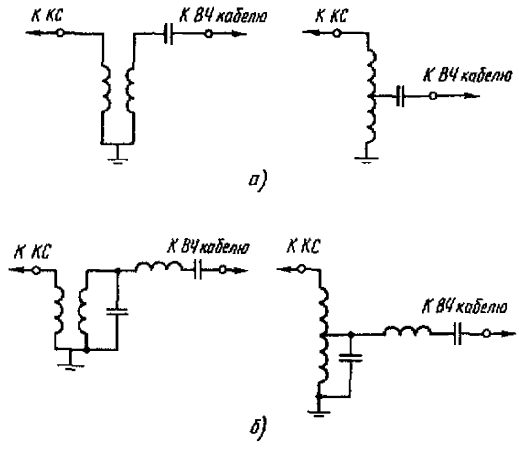


Рис.3.I5. Схемы фильтров присоединения:
а - ОФИ-4 или ФП; *б* - ФПМ

могут принимать значения от $(-\pi)$ до 0 и положительные значения $\varphi_{гр\ 1,2}$, полученные при вычислении по (3.85) и (3.87), не принимаются во внимание.

3.4.5.2. Фильтр присоединения ФПМ, схема которого показана на рис.3.I5,*б*

$$f_{гр\ 1,2} = f_0 \left[\Omega_{гр\ 1,2} W + \sqrt{1+(\Omega_{гр\ 1,2} W)^2} \right]; \quad (3.90)$$

$$W = 1{,}3\pi f_0 Z_{слт} C_{кс}\, 10^{-9}, \quad (3.91)$$

где f_0 - среднегеометрическая частота полосы пропускания фильтра, кГц;

$\Omega_{гр\ 1,2}$ - граничные частоты, определяемые для прототипа фильтра, рад.

Граничные значения частоты Ω ($\Omega_{гр\ 1,2}$) находятся по графику рис.3.I6 для граничных значений φ ($\varphi_{гр\ 1,2}$), определяемых по (3.85) или (3.87).

3.4.5.3. Как правило, зона повышенного затухания наблюдается у обходов промежуточных подстанций, имеющих на рассматриваемом напряжении только две ВЛ, входящие в схему тракта. Такие подстанции в расчетах обычно могут быть эквивалентированы емкостью, изменяющейся в пределах 3000-6000 пФ.

Примерное расположение зон повышенного затухания для случаев, когда фильтры имеют согласное (обычное) соединение обмоток (см. рис.3.I4,*а*) и когда один из фильтров имеет встречное соединение обмоток (см.рис.3.I4,*б*), показаны на рис.3.I7 для разных схем фильтров (см.рис.3.I5,*а* и 3.I5,*б*). Это расположение дано при условии, что $\ell_{каб} = 0$. Наличие кабеля сдвигает зоны повышенного затухания, изображенные на рис.3.I7, влево.

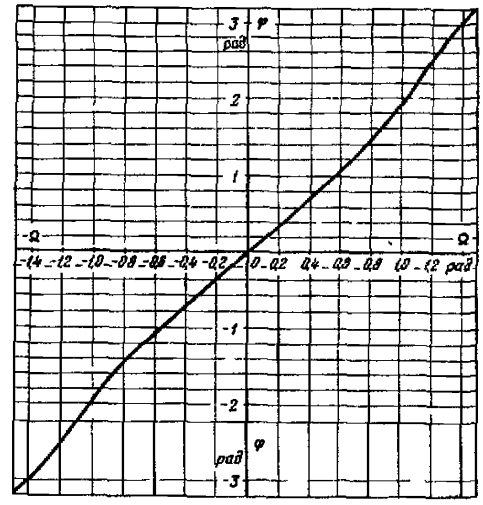


Рис.3.I6. Зависимость коэффициента передачи фазы фильтра ФПМ от частоты Ω

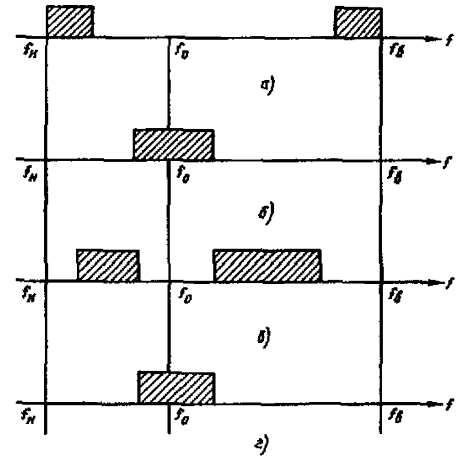


Рис.3.I7. Примерное расположение зон повышенного затухания (заштрихованные прямоугольники) тракта с обходом:
а, *б* - для ФП со схемой рис.3.I5,*а*; *в*, *г* - для ФП со схемой рис.3.I5,*б*; *а*, *в* - для согласного соединения обмоток одного ФП (рис.3.I4,*а*); *б*, *г* - для встречного соединения обмоток одного ФП (рис.3.I4,*б*)

3.5. Параметры линейного тракта с кабельной вставкой в ВЛ

Собственное затухание линейного тракта с кабельной вставкой в ВЛ определяется по формуле, аналогичной (3.9), которая записывается в виде:

$$a_{лт}=\alpha_к \ell_{кл}+\alpha_ф \ell_{вл}+a_{доп}, \qquad (3.92)$$

$$a_{доп} = a_{доп1}+a_{расс}, \qquad (3.93)$$

где $\alpha_к$ – коэффициент затухания модальной составляющей оболочка-жила для однофазных кабелей или жила-жила для трехфазных кабелей;

$\alpha_ф$ – коэффициент затухания междуфазной модальной составляющей ВЛ, если эта ВЛ представлена симметричной линией (см.п.3.1.1), или коэффициент затухания первой моды (α_1), если ВЛ не может быть представлена симметричной линией (в этом случае рассматривается присоединение к ВЛ только по оптимальным схемам);

$a_{доп1}$ – определяется для участков воздушной ВЛ в соответствии с п.3.1; 3.2.1.

Затухание от рассогласования ($a_{расс}$) определяется, как показано ниже.

Значение $\alpha_к$ зависит от типа кабеля и для кабелей на напряжение 110-220 кВ лежит в пределах, показанных на рис.3.18. Более конкретно значения $\alpha_к$ должны приниматься на основании результатов экспериментальных исследований.

3.5.1. Значение $a_{расс}$ для тракта со схемой, приведенной на рис.3.19,*а*, определяется по формуле

$$a_{расс}=20\ell g\left|\frac{Z_{вк}+Z_{вф}}{2\sqrt{Z_{вк}Z_{вф}}}\right|, \qquad (3.94)$$

где $Z_{вк}$ – волновое сопротивление кабеля, изменяющееся в пределах 15-40 Ом;

$Z_{вф}$ – волновое сопротивление междуфазной моды ВЛ.

С учетом реальных значений $Z_{вк}$ и $Z_{вф}$ значение $a_{расс}$ принимается 5-7 дБ.

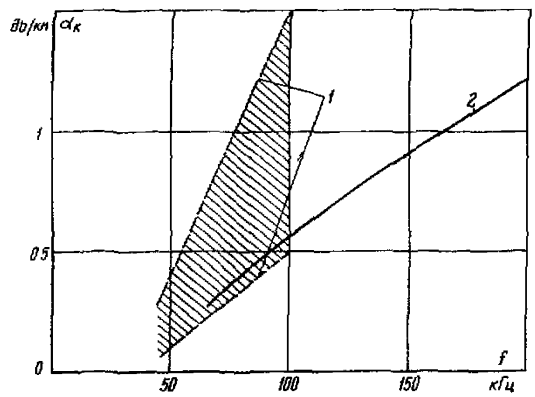


Рис.3.18. Область изменения значений коэффициента затухания $\alpha_к$ для кабелей 110-220 кВ:
1 – нижняя и верхняя границы изменений $\alpha_к$;
2 – $\alpha_к$ для кабеля АПВП

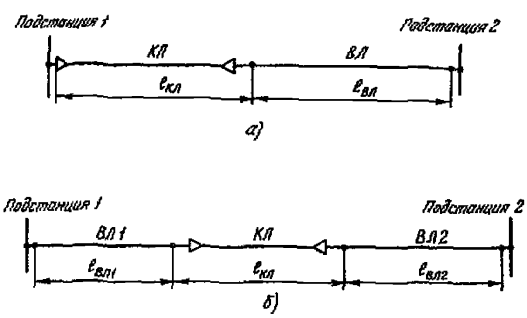


Рис.3.19. Схемы ВЧ трактов:
а – с кабельной вставкой в начале ВЛ; *б* – с кабельной вставкой в середине ВЛ

3.5.2. Значение $a_{расс}$ для линейного тракта, схема которого приведена на рис.3.19,*б*, определяется как удвоенное значение $a_{расс}$, определенное по (3.94). При этом следует учесть, что определение затухания ВЧ тракта по (3.92) с учетом (3.93) и (3.94) производится без учета влияния на затухание тракта волн, многократно отраженных от мест нарушения однородности воздушных и кабельных линий. Так как коэффициент отражения от мест соединения ВЛ и КЛ близок к 1, учет влияния на затухание тракта многократно отраженных волн обязателен, в особенности для схемы, приведенной на рис.3.19,*б*. Этот учет осуществляется согласно п.3.6.

3.5.3. Коэффициент отражения междуфазных волн от места соединения КЛ и ВЛ определяется по формуле

$$K_{\phi} = \pm \frac{Z_{в\phi} - Z_{вк}}{Z_{в\phi} + Z_{вк}}, \qquad (3.95)$$

причем знак + принимается для определения отраженной волны в сторону кабеля и знак - при определении отраженной волны в сторону ВЛ.

При оговоренных в п.3.5.I значениях $Z_{вк}$ модуль коэффициента отражения изменяется в пределах 0,8I÷0,93.

3.5.4. Коэффициент отражения междуфазной волны от конца кабеля для схемы, приведенной на рис.3.I9,*а*, определяется по формуле

$$K_{\phi} = \frac{Z_{\phi л} - Z_{вк}}{Z_{\phi л} + Z_{вк}}, \qquad (3.96)$$

где $Z_{\phi л}$ - характеристическое сопротивление фильтра присоединения к КЛ с высоковольтной стороны.

3.5.5. Для уменьшения затухания линейного тракта с кабельной вставкой и уменьшения влияния на затухание тракта многократно отраженных волн (особенно при схеме тракта см.рис.3.I9,*б*) может применяться согласование волновых сопротивлений кабельной и воздушной линий с помощью схемы ВЧ обхода мест соединения ВЛ и КЛ, как показано на рис.3.20. При этом характеристическое сопротивление фильтров присоединения с высоковольтной стороны должно быть как можно ближе к волновым сопротивлениям $Z_{в\,вл}$ и $Z_{в\,кл}$ соответственно.

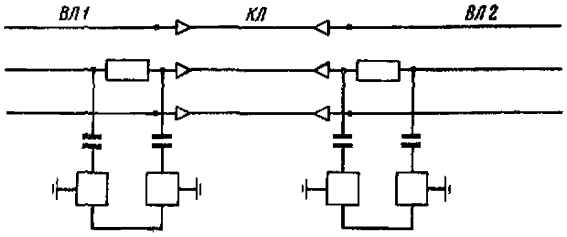


Рис.3.20. Схема ВЧ обхода мест соединения ВЛ и КЛ

При осуществлении обхода (см.рис.3.20) значение $a_{доп}$ в (3.92) определяется как

$$a_{доп} = a_{доп1} + 2(a_{\phi п\,вл} + a_{\phi п\,кл}) + a_{каб}. \qquad (3.97)$$

Коэффициенты отражения междуфазной волны от места включения обхода определяются по (3.96) для отражения в сторону кабеля и по (3.7) при $q_{нр} = 0$ для отражения в сторону линии.

3.6*. Учет влияния многократно отраженных волн от мест нарушения однородности ВЛ и КЛ на затухание и входное сопротивление линейного тракта

3.6.I. На линейном тракте, в схему которого входит только одна нетранспонированная линия длиной ℓ, имеются две точки нарушения однородности линии - ее начало и конец. В этом случае к затуханию линейного тракта, определяемого согласно пп.5.I и 3.2.I.6, добавляется $\Delta a_{отр}$, определяемая как

$$\Delta a_{отр} = 20 \lg \left| 1 - K_{\phi 1} K_{\phi 2} e^{-(0{,}23\alpha_{\phi}\ell + j2\beta_{\phi}\ell)} \right|, \qquad (3.98)$$

где $K_{\phi 1}$ и $K_{\phi 2}$ - коэффициенты отражения междуфазной волны напряжения от левого и правого концов линии, определяются согласно п.3.I.7.

Значение $\Delta a_{отр}$ изменяется от максимального положительного значения $\Delta a^{+}_{отр\,макс}$, определяемого выражением

$$\Delta a^{+}_{отр\,макс} = 20 \lg \left(1 + \left| K_{\phi 1} K_{\phi 2} \right| e^{-0{,}23\alpha_{\phi}\ell} \right), \qquad (3.99)$$

до максимального отрицательного значения $\Delta a^{-}_{отр.\,макс}$ определяемого выражением

$$\Delta a^{-}_{отр\,макс} = 20 \lg \left(1 - \left| K_{\phi 1} K_{\phi 2} \right| e^{-0{,}23\alpha_{\phi}\ell} \right), \qquad (3.100)$$

причем это изменение происходит в интервале частот

$$\Delta f \approx 75/\ell \qquad (3.101)$$

Для линейного тракта, в схему которого входит транспонированная ВЛ, как правило, можно принимать $\Delta a_{отр} = 0$ или при необходимости делать расчет на ЭВМ.

Входное сопротивление линейного тракта (в точке подключения конденсатора связи к линии) определяется по формуле:

а) схема фаза-земля

$$Z_{вх} = Z_{лт} \frac{1 + K_1 K_{ф2} e^{-(0{,}23\alpha_ф \ell + j 2\beta_ф \ell)}}{1 - K_2 K_{ф2} e^{-(0{,}23\alpha_ф \ell + j 2\beta_ф \ell)}}, \quad (3.102)$$

$$\left.\begin{aligned} K_1 &= \frac{3q_0 + q_{нр}(2 - q_0)}{3q_0 + q_{нр}(2 + q_0)}, \\ K_2 &= \frac{3q_{нр} + 2q_0 - 1}{3q_{нр} + 2q_0 + 1} \end{aligned}\right\} \quad (3.103)$$

В (3.103) $q_{нр}$ – относительное значение нагрузки нерабочих фаз на передающем конце линии (см.п.3.1.7);

б) схема фаза-фаза

$$Z_{вх} = Z_{лт} \frac{1 + K_{ф2} e^{-(0{,}23\alpha_ф \ell + j 2\beta_ф \ell)}}{1 - K_{ф2} e^{-(0{,}23\alpha_ф \ell + j 2\beta_ф \ell)}}. \quad (3.104)$$

В (3.102) и (3.104) $K_{ф2}$ – коэффициент отражения междуфазной волны напряжения на приемном конце ВЛ (см.п.3.1.7).

3.6.2. Для линейного тракта, в котором имеются три точки нарушения однородности линии (тракт с учетом повреждения – п.3.2.3; тракт с ответвлением – п.3.3, тракт с кабельной вставкой согласно рис.3.19,*а*, п.3.5.1), к затуханию, определенному согласно рекомендациям соответствующих пунктов, добавляется значение $\Delta a_{отр}$, определяемое как

$$\Delta a_{отр} = 20 \lg \left| 1 - K_{ф1} K_{ф2} e^{-(0{,}23\alpha_{ф1} + j 2\beta_{ф1})\ell_1} \right| +$$
$$+ 20 \lg \left| 1 - K_{ф3} K_{ф4} e^{-(0{,}23\alpha_{ф2} + j 2\beta_{ф2})\ell_2} \right| +$$
$$+ 20 \lg \left| 1 - K_{ф1} K_{ф4} T^2_{мф} \times \right.$$
$$\left. \times e^{-[0{,}23(\alpha_{ф1}\ell_1 + \alpha_{ф2}\ell_2) + j 2 (\beta_{ф1}\ell_1 + \beta_{ф2}\ell_2)]} \right|, \quad (3.105)$$

где $K_{ф1}, K_{ф2}, K_{ф3}$ и $K_{ф4}$ – коэффициенты отражения в точках, указанных на рис.3.21;

$\alpha_{ф1}, \beta_{ф1}, \alpha_{ф2}, \beta_{ф2}$ – коэффициенты затухания и коэффициенты фазы междуфазных модальных составляющих на соответствующих участках ВЛ;

$T^2_{мф}$ – квадрат коэффициента передачи напряжения падающих междуфазных волн напряжения через место нарушения однородности линии, определяемого по формулам п.3.2.3 для случая рассмотрения влияния повреждения, п.3.3.3 при рассмотрении влияния ответвления и по формуле

$$T^2_{мф} = \frac{4 Z_{в кл} Z_{в вл}}{(Z_{в кл} + Z_{в вл})^2} \quad (3.106)$$

для случая ВЛ с кабельной вставкой (см. рис.3.19,*а*).

Если квадрат коэффициента передачи падающей волны напряжения ($T^2_{мф}$) для рассматриваемой неоднородности мал (затухание, вносимое неоднородностью, велико), то последним слагаемым в (3.105) можно пренебречь.

Каждая из слагаемых в (3.105) изменяется от максимального положительного значения до максимального отрицательного значения, причем это изменение происходит в интервале частот, приближенно определяемом по (3.101), в котором подставляются соответственно длины ℓ_1 для первого участка, ℓ_2 для второго участка и $(\ell_1 + \ell_2)$ для сквозного тракта. При этом возможны такие частоты, на которых все слагаемые в (3.105) будут равны своим максимальным положительным (или максимальным отрицательным) значениям и общее затухание тракта будет резко возрастать (или уменьшаться).

В качестве примера на рис.3.22 приведена частотная зависимость затухания линейного тракта с кабельной вставкой (см. рис.3.19,*а*) с указанием всех составляющих затухания тракта.

Расчет входного сопротивления линей-



Рис.3.2I. Схема для определения $\Delta a_{отр}$ для тракта с тремя точками отражения волн в линии

ного тракта с тремя точками нарушения однородности линии достаточно сложен и его следует производить на ЭВМ по программе приложения I. Если нарушение однородности линии выражено сильно (например, трехфазное КЗ) и расположено близко относительно одного из концов линии, то входное сопротивление с этого конца линейного тракта может быть определено по (3.I02) или (3.I04), где $K_{ф2}$ - коэффициент отражения от места нарушения однородности линии, а ℓ - расстояние между рассматриваемым концом линии и неоднородностью.

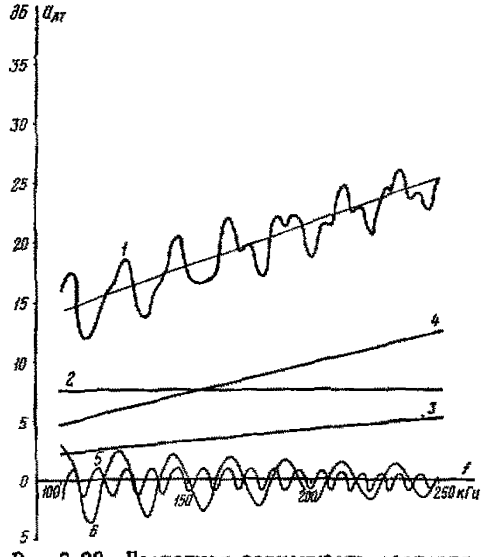


Рис.3.22. Частотная зависимость составляющих затухания ВЧ тракта с кабельной вставкой (схема рис.3.I9,*а*):

I - общее затухание линии; 2 - затухание, обусловленное потерями на однократное отражение в точке соединения ВЛ и КЛ; 3,4 - затухания однородных участков ВЛ и КЛ; 5,6 - затухания, вызванные многократными отражениями на отдельных участках ВЛ и КЛ

3.6.3. Для линейного тракта с обходом, где имеются четыре точки нарушения однородности линии к затуханию, определенному согласно п.3.4, добавляется значение $\Delta a_{отр}$, определяемое по формуле

$$\Delta a_{отр} \approx 20\lg\left|1-K_{ф1}K_{ф2}e^{-(0{,}23\alpha_ф+j2\beta_ф)\ell_1}\right| + 20\lg\left|1-K_{ф3}K_{ф4}e^{-(0{,}23\alpha_ф+j2\beta_ф)\ell_2}\right|, \quad (3.I07)$$

где $K_{ф1}$ и $K_{ф2}$ - коэффициенты отражения по концам первой ВЛ длиной ℓ_1,

$K_{ф3}$ и $K_{ф4}$ - то же, для второй ВЛ длиной ℓ_2 .

Изменение каждой из слагаемых в (3.I07) с частотой происходит так же, как это показано в пп.3.6.I и 3.6.2.

3.6.4. Для линейного тракта с кабельной вставкой с включением этой вставки согласно рис.3.I9,*б* к затуханию, определенному согласно п.3.5.2, добавляется значение $\Delta a_{отр}$, определяемое по формуле

$$\Delta a_{отр} = 20\lg\left|1-K_{ф1}K_{ф2}e^{-(0{,}23\alpha_{ф1}+j2\beta_{ф1})\ell_1}\right| + 20\lg\left|1-K_{ф3}K_{ф4}e^{-(0{,}23\alpha_к+j2\beta_к)\ell_к}\right| + 20\lg\left|1-K_{ф5}K_{ф6}e^{-(0{,}23\alpha_{ф3}+j2\beta_{ф3})\ell_3}\right|, \quad (3.I08)$$

где $K_{ф1}$, $K_{ф2}$ - коэффициенты отражения от концов первого участка ВЛ длиной ℓ_1 ;

$K_{ф3}$, $K_{ф4}$ - коэффициенты отражения от концов участка КЛ длиной $\ell_к$;

$K_{ф5}$, $K_{ф6}$ - коэффициенты отражения от концов второго участка ВЛ длиной ℓ_3

Примечание. Характер изменения каждой из слагаемых в (3.I08) тот же, что и в (3.I07), (3.I05) и (3.98).

3.7. *Устройства обработки* и присоединения

3.7.1. Высокочастотный заградитель

Затухание, вносимое заградителем, включенным на одном из концов линейного тракта со схемой присоединения фаза-земля, трос-земля и два троса-земля, определяется по формуле

$$a_з = 20 lg \left| 1 + \frac{Z_{фл} Z_{лт}}{Z_з (Z_{фл} + Z_{лт})} \right| , \quad (3.109)$$

где $Z_{фл}$ - характеристическое сопротивление фильтра присоединения со стороны линии;

$Z_{л.т}$ - характеристическое сопротивление линейного тракта для рассматриваемой схемы присоединения (см.пп.3.1.6, 3.2.1.16 и 3.2.2.5);

$Z_з$ - сопротивление заградителя.

Как правило, при определении $a_з$ в (3.109) вместо $Z_з$ подставляется значение активной составляющей этого сопротивления $R_з$.

Затухание, вносимое заградителем в полосе запирания, не должно превышать 2,6 дБ, что при условии $Z_{фл} = Z_{лт}$ соответствует условию $R_з \geqslant 1{,}43 Z_{лт}$.

Если линейный тракт организован по схеме фаза-фаза или трос-трос, то расчет производится по этой же формуле, но $Z_з$ принимается равным суммарному сопротивлению заградителей, включаемых в обе фазы (оба троса), а $Z_{фл} = 2Z'_{фл}$ при использовании двух *однофазных фильтров присоединения с расчетным характеристическим* сопротивлением каждого из них, равным $Z'_{фл}$, или $Z_{фл} = Z'_{фл}$ при использовании одного двухфазного фильтра присоединения с характеристическим сопротивлением со стороны линии, равным $Z'_{фл}$.

В том случае, когда заградитель входит неотъемлемой составной частью в схему фильтра присоединения (внутрифазное присоединение, присоединение к грозозащитным тросам), определение вносимого затухания по (3.109) не производится.

3.7.2. Устройство присоединения

Расчетное затухание фильтра присоединения и затухание несогласованности фильтра *со стороны линейного тракта определяется* по паспортным данным или при их отсутствии по формулам:

$$a_{фп} = a_c + a_{отр} = 1{,}0 + 20 lg \left| \frac{Z_{лт} + Z_{фл}}{2\sqrt{Z_{лт} Z_{фл}}} \right| , \quad (3.110)$$

$$A_{нс} = 10 lg \left| 10^{0{,}1 a_{отр}} / / 10^{0{,}1 a_{отр}} - 1 \right| , \quad (3.111)$$

в которых $Z_{фл}$ и $Z_{лт}$ имеют те же значения, что и в п.3.7.1.

Рекомендуются следующие значения $a_{фп}$ и $A_{нс}$:

$a_{фп} \leqslant 1{,}3$ дБ, $\quad A_{нс} \geqslant 12$ дБ.

По этим же формулам определяются значения $a_{фп}$ и $A_{нс}$, характеризующие устройства присоединения, в схему которых составной частью входит заградитель.

3.7.3. *Разделительный фильтр*

Разделительные фильтры используются для разделения двух или нескольких параллельно включенных ВЧ аппаратов и для разделения ВЧ трактов в пунктах ВЧ обхода промежуточных подстанций (рис.3.23). Затухание разделе-

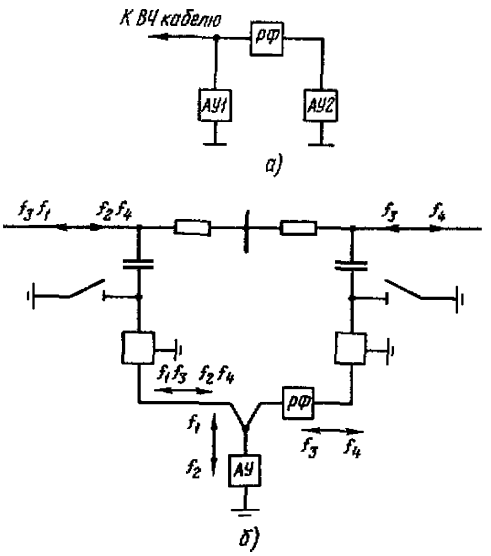


Рис.3.23. Схемы включения разделительных фильтров:

а - для разделения параллельно включенных аппаратов; *б* - для разделения трактов в пункте ВЧ обхода

тельного фильтра при передаче сигнала через фильтр a_p и затухание от шунтирующего действия входного сопротивления фильтра $a_ш$ определяются по паспортным данным. Рекомендуется, чтобы $a_p \leqslant 1{,}3$ дБ и $a_ш \leqslant 1$ дБ.

3.7.4. *Высокочастотный кабель*

Километрическое затухание ВЧ кабелей РК-75 рассчитывается по формуле

$$\alpha = K\sqrt{f}, \qquad (3.112)$$

в которой значение коэффициента K принимается равным: 0,13 для кабелей РК-75-9-12 и РК-75-9-14; 0,16 для кабелей РК-75-7-15 и РК-75-7-16 и 0,25 для кабелей РК-75-4-13, РК-75-4-15 и РК-75-4-16.

Фазовая скорость распространения принимается равной $200 \cdot 10^3$ км/с.

3.8. Помехи

3.8.1. Помехи от короны в трактах по фазам

3.8.1.1*. Средний (по всем погодным условиям) уровень флуктуационных помех (для среднеквадратического значения напряжения помех) в трактах с присоединением фаза-земля и фаза-фаза к ВЛ 220-750 кВ с горизонтальным расположением проводов, проходящим на уровне, отличающемся от уровня моря не более чем на 300 м, определенный для частоты f и в полосе частот Δf = 1 кГц, находится по формуле

$$p_{пом\,f} = A + \Gamma + 10 \lg \left[1/(K_4 \alpha_{pf}) \right], \qquad (3.113)$$

$$\Gamma = -67 + 2{,}3E + 40 \lg r_{пр}, \qquad (3.114)$$

$$E = 0{,}0147\,(1 + \beta r_{пр}/a) C U_л / p r_{пр}, \qquad (3.115)$$

$$C = \left\{ 66{,}6 / \left[\ln \left[1{,}26 S_{12} / (t r_{пр} r_{расщ}^{p-1})^{1/p} \right] \right] \right\} - 1{,}2, \qquad (3.116)$$

$$r_{расщ} = a / [2 \sin(\pi/p)], \qquad (3.117)$$

где A – коэффициент, зависящий от схемы присоединения к ВЛ, значение которого приведено в табл.3.20;

Γ – генерация помех, дБ;

K_4 – коэффициент, значение которого приведено в табл.3.4;

α_{pf} – коэффициент затухания на частоте f модальной составляющей, основной для данного тракта (см.табл.3.20);

E – максимальная напряженность электрического поля на средней фазе ВЛ (амплитудное затухание), кВ/см;

$r_{пр}$ – радиус провода (или составляющей расщепленной фазы), см;

a – шаг расщепления, см;

C – рабочая емкость средней фазы, пФ/м;

$U_л$ – линейное напряжение ВЛ, кВ;

p – число проводов в расщепленной фазе;

S_{12} – расстояние между смежными фазами, см;

$r_{расщ}$ – радиус расщепления, см;

β – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения заряда по поверхности составляющей расщепленной фазы, принимающий значения, указанные ниже.

Число проводов в расщепленной фазе	1	2	3	4	5	6	7	8
β	0	2	3,46	4,24	4,7	5	5,21	5,36

3.8.1.2*. Если трасса ВЛ проходит на разных высотах над уровнем моря, превышающим 300 м, то при расчете помех по (3.113) генерация помех определяется как

$$\Gamma_н = \Gamma + H_{ср}/300, \qquad (3.118)$$

где Γ – генерация, определенная по (3.114);

$H_{ср}$ – средняя арифметическая высота трассы ВЛ над уровнем моря, определенная с учетом весовых коэффициентов, учитывающих длину линии на данной высоте.

Таблица 3.20

Значения коэффициента A в (3.II3)

Схема присоединения к ВЛ	A дБ	Основная мода, для которой берется значение $\alpha_{\phi f}$ в (3.II3)
Средняя фаза-земля	-35,9	α_1 (мода средняя фаза-фаза крайние)
Крайняя фаза-земля	-38,9	То же
Фаза средняя-фаза крайняя	-35,2	-"-
Фаза-фаза крайние	-36*	α_2 (мода фаза-фаза крайние)
Внутрифазный тракт по средней фазе	-26	$\alpha_{\beta\phi}$ (внутрифазная мода)
Внутрифазный тракт по крайней фазе	-29	То же

*Значение A дается с учетом того, что при определении генерации значение напряженности электрического поля вычисляется для средней фазы.

3.8.I.3*. Средний (по всем погодным условиям) уровень флуктуационных помех в тракте с внутрифазным присоединением к линии длиной ℓ определяется по формуле

$$p_{пом\,f,\ell} = p_{пом\,f} + 10\lg\left(1-10^{-0{,}1\alpha_{\beta\phi}\ell}\right), \quad (3.II9)$$

где $p_{пом\,f}$ определяется по (3.II3) с учетом данных табл.3.20.

3.8.I.4*. Средние уровни флуктуационных помех (для среднеквадратического напряжения) в полосе Δf = I кГц со средней частотой f = I00 кГц для присоединения по схемам фаза-земля и фаза-фаза к ВЛ 35-II0 кВ, а также к ВЛ 220-750 кВ с наиболее характерной конструкцией фазы принимаются в соответствии с данными табл.3.2I.

При необходимости перехода к другой частоте f, отличной от частоты I00 кГц, следует использовать приближенную зависимость

$$p_{пом\,f} = p_{пом} - K_f \lg\left(f \cdot 10^{-2}\right), \quad (3.I20)$$

где K_f = 5 для ВЛ 220 кВ и внутрифазного тракта по ВЛ 330 кВ;
K_f = 7 для трактов по фазам ВЛ 330 кВ;
K_f = 8,5 для трактов по ВЛ 500-750 кВ.

Таблица 3.2I

Усредненные данные по средним уровням флуктуационных помех ВЛ 35-750 кВ с наиболее характерной конструкцией фазы

Напряжение ВЛ, кВ	Конструкция расщепленной фазы	$p_{пом}$ дБ
35	-	-45
II0	-	-38
220	I x АС 300/39	-28*
330	2 x АС 300/39-40	-26*,**
500	3 x АС 330/43-40	-2I*
750	5 x АС 300/39-40	-20*
	4 x АС-400/93-60	-I8*

*Уровень помех дан для схемы присоединения средняя фаза-земля и фаза средняя-фаза крайняя; для схемы присоединения крайняя фаза-земля уровень помех уменьшать на 3 дБ.

**Для внутрифазного тракта по ВЛ 330 кВ уровень помех принимать равным -I9 дБ для тракта по средней фазе и -22 дБ для тракта по крайней фазе.

3.8.I.5. Вероятность того, что уровни помех от короны на ВЛ напряжением 220 кВ и выше будут превышать $p_{пом}$ на Δp ($p_{пом}$ - уровень помех, определяемый по пп.3.8.I.I-3.8.I.4), может быть определена по рис.3.24.

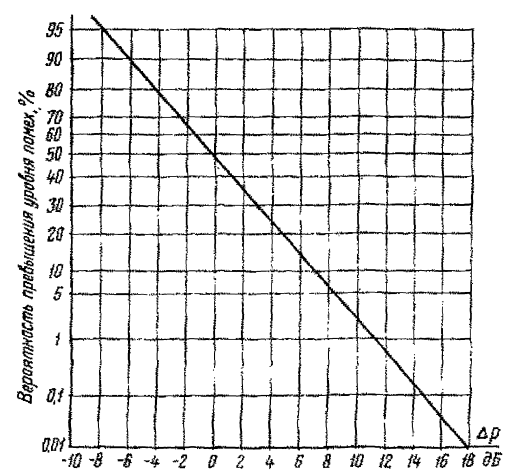


Рис.3.24. Кривая для определения вероятности превышения уровня помех над $p_{пом} + \Delta p$

3.8.I.6. Значения $p_{пом}$, вычисляемые согласно пп.3.8.I.I-3.8.I.4, соответствуют уровням помех на ВЛ с проводами, прошедшими процесс старения (около 5 лет со времени подвески проводов). Для вновь построенных линий средние значения $p_{пом}$ больше рассчитанных по пп.3.8.I.I-3.8.I.4 примерно на 7-I0 дБ. При этом уровень помех с вероятностью появления не более 0,5%, соответствующий дождю с интенсивностью $t \geq$ I,2 мм/ч вблизи подстанции, примерно одинаков как для новых, так и для ВЛ с состаренными проводами.

3.8.I.7. Уровень флуктуационных помех в любой полосе частот Δf, отличной от I кГц, определяется по формуле

$$p_{пом\,\Delta f} = p_{пом} + 10 \lg \Delta f \qquad (3.I2I)$$

3.8.I.8. Если в тракт с ВЧ обходом входят две ВЛ разных классов напряжения, то уровень помех на выходе тракта по ВЛ более низкого напряжения определяется по формуле

$$p_{пом} = 10 \lg \left[10^{0,1 p_{пом\,нн}} + 10^{(0,1 p_{пом\,вн} - a'_{тр})} \right], \qquad (3.I22)$$

где $p_{пом\,нн}$ – нормированный уровень помех для ВЛ более низкого напряжения;

$p_{пом\,вн}$ – то же, для ВЛ высшего напряжения;

$a'_{тр}$ – затухание участка тракта между точкой определения помех и точкой подключения к ВЛ высшего напряжения.

3.8.I.9*. Зависимость среднеквадратического напряжения помех (от короны) от фазы напряжения промышленной частоты имеет для разных схем присоединения к фазам вид, показанный на рис.3.25.

Соотношения между среднеквадратическими напряжениями помех в максимумах всплесков зависимости $U_{пом} = f(\varphi)$ и средним среднеквадратическим напряжением помех, соответствующим уровню, определенному согласно пп.3.8.I.I-3.8.I.5, для нетранспонированной ВЛ с горизонтальным расположением проводов приведены в табл.3.22.

Для транспонированных линий 330 кВ и выше соотношения $U_{макс\,к} / U_{пом}$ $(K = I,2,3)$

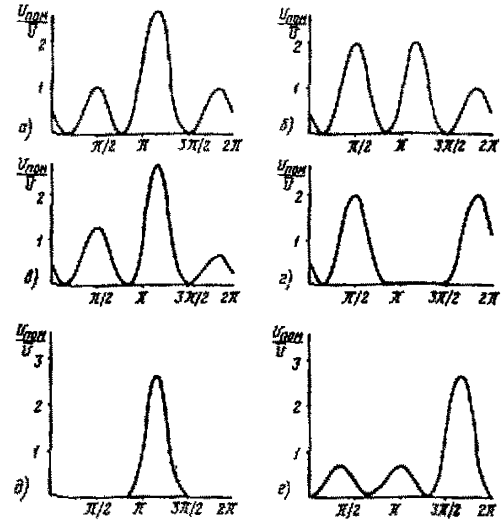


Рис.3.25. Зависимость среднеквадратического напряжения помех (от короны) от фазы напряжения промышленной частоты при разных схемах присоединения к ВЛ:

а – средняя фаза-земля; *б* – крайняя фаза-земля; *в* – фаза средняя – фаза крайняя; *г* – фаза – фаза крайняя; *д* – внутрифазный тракт по средней фазе; *е* – внутритросовый тракт по тросу между средней и правой крайней фазой

при хорошей погоде могут значительно отличаться от приведенных в табл.3.22 и должны определяться либо расчетом на ЭВМ, либо экспериментально. При интенсивном дожде вблизи подстанции эти соотношения близки к значениям, приведенным в табл.3.22 (в знаменателе).

3.8.2*. Помехи от короны в трактах по тросам

Уровень помех от короны в полосе Δf = I кГц в трактах по грозозащитным тросам ВЛ 220–750 кВ определяется как

$$p_{пом\,трос} = p_{пом\,ф} - \Delta p_{пом}, \qquad (3.I23)$$

где $p_{пом\,ф}$ – уровень помех в тракте средняя фаза–земля, определяемый согласно п.3.8.I;

$\Delta p_{пом}$ – принимается согласно табл.3.23.

Таблица 3.22

Соотношения между среднеквадратическими напряжениями помех в максимумах всплесков зависимости $U_{пом}=f(\varphi)$ и средним среднеквадратическим напряжением помех

Схема присоединения (нумерация проводов см.рис.2.2)	Соотношения		
	$U_{макс1}/\bar{U}_{пом}$	$U_{макс2}/\bar{U}_{пом}$	$U_{макс3}/\bar{U}_{пом}$
Фаза I (крайняя) - земля	2/2,7	2/I	0,95/0,5
Фаза 2 (средняя) - земля	0,95/0,5	2,6/2,7	0,95/0,5
Фаза I - фаза 2 (средняя-крайняя)	I,2/I,2	2,5/2,5	0,8/0,8
Фаза I - фаза 3 (крайние)	2/2	0	2/2
Внутрифазное к фазе 2	0	2,83/2,83	0

Примечание. В числителе - соотношение в хорошую погоду, в знаменателе - в дождь с интенсивностью $i \geq 1,2$ мм/ч вблизи подстанции.

Таблица 3.23

Значения $\Delta p_{пом}$ в формуле (3.I23)

$\Delta p^{*}_{пом}$, дБ, для присоединения				
к проводящему нерасщепленному тросу ВЛ 500-750 кВ с горизонтальным расположением проводов при схемах присоединения			к проводящему расщепленному тросу ВЛ 500-750 кВ при внутритросовом присоединении	к проводящему или стальному одиночному тросу ВЛ 220 кВ с треугольным расположением проводов при присоединении трос-земля
трос-земля	два троса-земля	трос-трос		
8	9	I4	35**	7

*Значения $\Delta p_{пом}$ даны для случая, когда тросы транспонированы по крайней мере каждые 20 км. При других длинах шагов транспозиции уровни помех следует определять с помощью расчета на ЭВМ.

**При нарушении по тем или иным причинам симметрии составляющих расщепленного троса относительно земли уровень помех может значительно возрасти.

3.8.3. Коммутационные и другие виды помех, не связанные с короной на фазах

3.8.3.I*. Уровни и другие параметры помех, обусловленных коммутациями оборудования на подстанциях, короткими замыканиями и грозовыми перенапряжениями в трактах с присоединением по схемам фаза-земля и фаза-фаза, приведены в табл.3.24.

Условие, по которому помехи на выходе фильтра с шириной полосы пропускания Δf являются флуктуационными, записывается в виде

$$n \geq \Delta f, \qquad (3.I24)$$

где n - число импульсов помехи, посту-

Таблица 3.24

Параметры помех, обусловленных различными источниками

Источник помехи	Уровень помех, дБ, в полосе телефонного канала 4 кГц*	Средняя частота следования импульсов, 1/с	Продолжительность помех, мс	Характер помех**
Включение и отключение участков сборных шин и оборудования разъединителем	+25	2-3 в начале процесса включения или в конце отключения; 100-1000 в остальное время	500-5000	Импульсные, но для узкополосных систем телемеханики в конце операции включения или начале отключения могут иметь характер флуктуационных помех
Включение и отключение линии выключателем	+20	1000-2000	5-20	Флуктуационные
Начало дугового короткого замыкания	+25	1000-2000	2-5	Флуктуационные
Горение устойчивой дуги	-10	100-300	-	Импульсные
Отключение КЗ выключателем	+25	1000-2000	10-30	Флуктуационные
Разряды молнии	+25	2-3 (доходит до 40)	≤1000	Импульсные

*Уровень помех определяется как $20 \lg (U/0{,}775)$, причем U - действующее значение синусоидального напряжения с амплитудой, равной амплитуде импульса.

**В зависимости от ширины полосы пропускания фильтра, на выходе которого определяются помехи, они могут иметь как импульсный, так и флуктуационный характер.

пающих на вход фильтра за 1 с;

Δf - полоса пропускания фильтра, Гц.

3.8.3.2*. Уровни коммутационных помех, помех от коротких замыканий и от разрядов молний во внутрифазных трактах по ВЛ 330 кВ по крайней мере на 20 дБ ниже, указанных в табл.3.24.

4. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ЗАТУХАНИЙ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ *ЛИНЕЙНЫМИ ТРАКТАМИ*

4.1.* *Переходные затухания* между трактами по одной линии

4.1.1. Переходные затухания на ближнем конце линии

4.1.1.1. Переходные затухания на ближнем конце линии между линейными трактами, организованными по различным схемам присоединения к фазам одной и той же линии, принимаются равными:

20 дБ - между трактами со схемами фаза-земля по смежным фазам (например, фаза 1 - земля и фаза 2 - земля или фаза 2 - земля и фаза 3 - земля ВЛ с горизонтальным расположением проводов - см.рис.2.2);

25 дБ - между трактами со схемами фаза-земля по крайним фазам (например, фаза 1 - земля и фаза 3 - земля - см.рис.2.2);

28 дБ - между трактами со схемой фаза-земля и фаза-фаза;

60 дБ - между двумя внутрифазными (ВФ) трактами;

40 дБ – между ВЧ трактом и трактом со схемой присоединения фаза-земля.

4.I.I.2. Переходные затухания на ближнем конце линии между линейными трактами, организованными по различным схемам присоединения к грозозащитным тросам и к фазам одной и той же линии, принимаются равными согласно табл.4.I.

Таблица 4.I

Переходные затухания на ближнем конце линии между трактами по тросам и трактами по фазам

Тросы	Одиночные			Расщепленные	
С какого тракта	Трос-земля	Два троса-земля	Трос-трос	ВТ*	ВТ*
На какой тракт	Фаза-земля	Фаза-земля	Фаза-земля	Фаза-земля	ВТ
$A_{л\,б}$ дБ	20	I5	I5	40	85

*При повреждении устройств обработки и присоединения к одной из составляющих расщепленного троса и ухудшении изоляции этой составляющей относительно земли, а также при неидентичности затухания и входного сопротивления устройств присоединения к каждой из составляющих расщепленного троса $A_{л\,б}$ между ВТ трактом и другими видами трактов может значительно уменьшаться.

4.I.2. Защищенность и переходные затухания на дальнем конце линии

4.I.2.I. Защищенность между двумя ВЧ трактами по ВЛ 330 кВ длиной до I00 км приближенно определяется по кривой, приведенной на рис.4.I.

Защищенность между двумя ВТ трактами по ВЛ 750-II50 кВ при длине усилительного участка I40 км принимается равной 60 дБ в диапазоне частот до I40 кГц и 50 дБ в диапазоне частот I40-600 кГц.

4.I.2.2. Переходные затухания на дальнем конце линии между трактами по фазным проводам определяется как затухание линейного тракта при соответствующем включении передатчика в начале влияющего тракта и приемника в конце тракта, подверженного влиянию согласно п.3.2.I.

Переходные затухания на дальнем конце линии между трактами с присоединением к фазным проводам и тросам должны определяться с помощью расчета на ЭВМ.

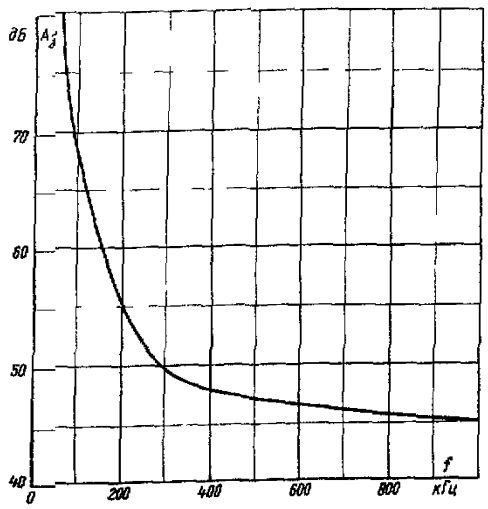


Рис.4.I. Защищенность между внутрифазными трактами ВЛ 330 кВ

4.2. Переходные затухания между трактами по линиям, заходящим на одну общую подстанцию

4.2.I. Переходное затухание подстанции на ближнем конце

4.2.I.I. Переходное затухание подстанции на ближнем конце, обусловленное связью через шины подстанции, при схеме присоединения фаза-земля к линиям одного класса напряжения без смены обрабатываемой рабочей фазы и при условии, что рабочие фазы на обеих линиях обработаны заградителями, определяется по формуле

$$A'_{п\,б}=20\lg\left|1+a+b+2cg\,(1+1/b+b/4)/(c+d)\right|, \quad (4.I)$$

$$\left.\begin{aligned} a&=Z_{фл}/Z_{лт}\,,\quad b=Z_{фл}/(Z_з+2Z_{пс}),\\ c&=1/(2Y_{12}^2)+Z_{пс}\left[\sum_{i=1}^{3}(Y_{1i}/Y_{12})-1\right]/Y_{12},\\ d&=Z_з(Z_з+2Z_{пс});\quad g=Z_з/Z_{пс}\end{aligned}\right\} \quad (4.2)$$

На рис.4.2 приведены рассчитанные по (4.I) с учетом (4.2) зависимости $A'_{п\,б}=\varphi(Z_з, Z_{пс})$. При расчете было принято $Z_з = R_з$, $Z_{фл}= Z_{лт}= 450$ Ом; $Z_{пс}$ – чисто мнимое значение (подстанция может быть эквивалентирована емкостью); значения элемен-

то [illegible] (Y_6, Y_{11}, Y_{12} и Y_{13}) взяты по данным приложения 2.

Примечания: 1. Переходное затухание для случая, когда фазы линий, между которыми определяется переходное затухание, разноименные, увеличивается на 9 дБ. -2. При отсутствии заградителя на одной из линий переходное затухание уменьшается на 9 дБ. -3. Переходное затухание между трактами со схемами присоединения фаза-фаза принимается равным затуханию, определенному по (4.1). -4. Эквивалентная емкость подстанции $C_{пс}$ в первом приближении определяется по данным приложения 5.

4.2.1.2. Если переходное затухание подстанции на ближнем конце определяется между ВЛ разных классов напряжения, то оно оказывается больше определенного по п.4.2.1.1. При отсутствии экспериментальных данных переходное затухание увеличивается на 18 дБ, если ВЛ отличаются по напряжению на один класс; на 26 дБ, если ВЛ отличаются по напряжению на два класса; на 44 дБ – при отличии на три класса и более.

4.2.1.3. Переходное затухание подстанции на ближнем конце, обусловленное электромагнитной связью между линиями на участке параллельного сближения при заходе на подстанцию при присоединении к обеим линиям по схеме фаза-земля, определяется с помощью расчета на ЭВМ по программе "Тракт" или по приближенной формуле

$$A''_{пб} = A''_{пб\infty} + \Delta_l A, \qquad (4.3)$$

где $A''_{пб\infty}$ – переходное затухание при бесконечной длине параллельного сближения;

$\Delta_l A$ – поправка, учитывающая конечную длину участка сближения.

4.2.1.4*. Значение $A''_{пб\infty}$ для случая параллельного сближения двух линий с горизонтальным расположением проводов и для случая организации тракта на обеих линиях по схеме средняя фаза-земля определяется по приближенной формуле

$$\left.\begin{aligned} A''_{пб\infty} &= 20\lg\left|\frac{200}{P+jQ}\right| \\ P &= 0{,}98F_{14} + 0{,}65(F_{15}+F_{24}) + 0{,}33(F_{16}+F_{34}), \\ Q &= 71\beta'_{14} + 31\beta'_{25} + 71(\beta'_{15}+\beta'_{24}) + 34(\beta'_{16}+\beta'_{34}), \end{aligned}\right\} \qquad (4.4)$$

$$\left.\begin{aligned} h_{Kl} &= (a_{Kl} + \delta_{Kl})/2 + j\,\ell n\left[(h_K + h_l + h_з)/(d_{Kl} \cdot \sqrt{\cos a_{Kl} \cdot \cos\delta_{Kl}})\right], \\ a_{Kl} &= arctg\left[(h_з + S_{Kl})/(h_K + h_l + h_з)\right], \\ \delta_{Kl} &= arctg\left[(h_з - S_{Kl})/(h_K + h_l + h_з)\right] \\ h_з &= 15{,}8\sqrt{\rho_з/f}, \end{aligned}\right\} \qquad (4.5)$$

где h_K и h_l – высоты подвески проводов влияющей ($K = 1,2,3$) и подверженной влиянию ($l = 4, 5, 6$) линии (рис.4.3);

$h_з$ – параметр, учитывающий глубину залегания эквивалентного обратного тока;

d_{Kl} – расстояние между K-м проводом влияющей линии и l-м проводом линии, подверженной влиянию;

S_{Kl} – разность горизонтальных координат K-го провода влияющей линии и l-го провода линии, подверженной влиянию;

F_{Kl} и β'_{Kl} – коэффициенты, пропорциональные соответственно взаимному сопротивлению и проводимости между K-м проводом влияющей линии и l-м проводом линии, подверженной влиянию.

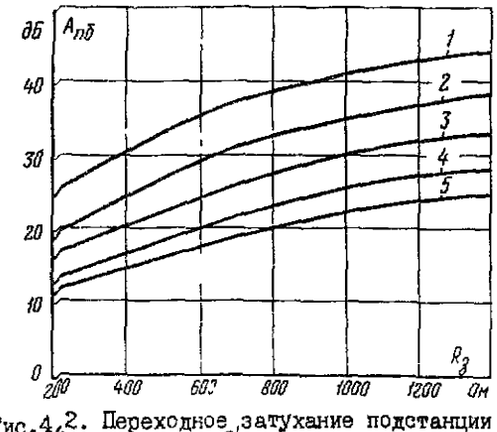


Рис.4.2. Переходное затухание подстанции на ближнем конце $A'_{пб}$ в зависимости от $R_з$ для различных значений $Z_{пс}$:
1 – $Z_{пс} = -j50$; 2 – $Z_{пс} = -j100$; 3 – $Z_{пс} = -j200$; 4 – $Z_{пс} = -j500$; 5 – $Z_{пс} = -j1000$

Значения коэффициентов β'_{Ki} принимаются равными соответствующим элементам матрицы N^{-1}, но с обратными знаками. Элементы матрицы N определяются по формулам:

$$N_{KK} = \ell n\, 2h_K / r_{эк};$$

$$N_{Ki} = \ell n \frac{\sqrt{(h_K + h_i)^2 + S_{Ki}^2}}{\sqrt{(h_K - h_i)^2 + S_{Ki}^2}}; \qquad (4.6)$$

$$\left(\begin{matrix} K = 1,2, \ldots, 6 \\ i = 1,2, \ldots, 6 \end{matrix}\right).$$

Значения коэффициентов β'_{Ki}, вычисленные для случая сближения ВЛ одинакового класса напряжения при разных значениях ширины параллельного сближения, приведены на рис.4.4.

На рис.4.5 приведены кривые зависимости $A''_{п.б\infty}$ между линиями одного класса напряжения от ширины сближения $d_{пс}$, полученные (по 4.4) для типовых конструкций ВЛ.

4.2.1.5*. Значение $\Delta_1 A$ в (4.3) определяется по формулам:

при $\beta_0 \ell_{пс} \le \pi/2$

$$\Delta_1 A = 20 \ell g \left| 1 - e^{-(0{,}23\alpha_0 + j\,2\beta_0)\ell_{пс}} \right|, \qquad (4.7)$$

при $\beta_0 \ell_{пс} > \pi/2$

$$\Delta_1 A = 20 \ell g \left| 1 + e^{-0{,}23\alpha_0 \ell_{пс}} \right|. \qquad (4.8)$$

Примечание. Использование формулы (4.7) при $\beta_0 \ell_{пс} > \pi/2$ не рекомендуется из-за возможности значительной погрешности расчета, вызванной неточным определением значения $\beta_0 \ell_{пс}$.

На рис.4.6 приведена зависимость $\Delta_1 A = \varphi(f \ell_{пс})$, полученная по (4.7) и (4.8) для значений α_0 и β_0, определенных для $\rho_з$ = 100 Ом·м. Эту зависимость можно использовать в ориентировочных расчетах значений $\Delta_1 A$ при отсутствии надежных данных по значению $\rho_з$.

4.2.1.6*. Переходное затухание подстанции на ближнем конце, обусловленное электромагнитной связью между линиями на участке параллельного сближения при заходе

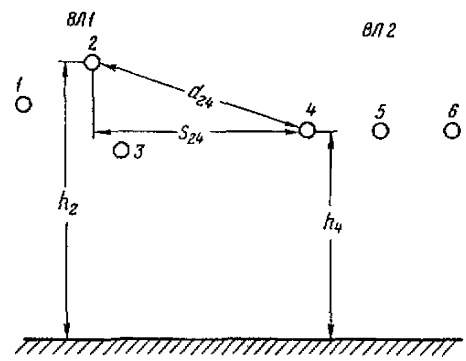


Рис.4.3. Эскиз взаимного расположения влияющей (ВЛ1) и подверженной влиянию (ВЛ2) линий при определении переходного затухания $A''_{п\,б\infty}$

на подстанцию, при присоединении к обеим линиям по схеме фаза-фаза следует определять с помощью расчета на ЭВМ по программе "Тракт". Ориентировочно это значение может быть принято на 15 дБ больше, чем для схемы фаза-земля.

4.2.1.7*. Переходное затухание на ближнем конце подстанции, обусловленное паразитной связью между рассматриваемыми ВЛ как через шины подстанции, так и на участке параллельного сближения, определяется по формуле

$$A_{п.б} = -10 \ell g \left(10^{-0{,}1 A'_{п.б}} + 10^{-0{,}1 A''_{п\,б}}\right). \qquad (4.9)$$

4.2.2. Переходное затухание подстанции на дальнем конце

Переходное затухание подстанции на дальнем конце при отсутствии параллельного пробега ВЛ1 и ВЛ2 на подходе к подстанции (см. рис.2.7,б) определяется по приближенной формуле

$$A_{п.д} = A'_{п\,б} + a_{тр} - 10, \qquad (4.10)$$

где $a_{тр}$ – затухание тракта с заданной схемой присоединения по ВЛ1.

Более точно значение $A_{п.д}$ должно определяться с помощью расчета на ЭВМ.

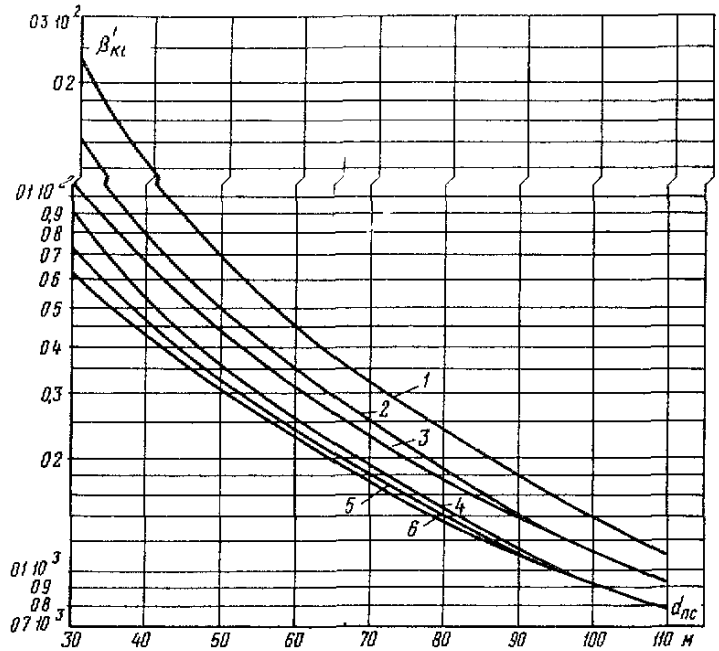


Рис.4.4 *а*. Зависимость коэффициента емкостной связи между ВЛ 110 кВ от ширины параллельного сближения.

$1-\beta'_{34}$, $2-\beta'_{24}$, $3-\beta'_{14}$, $4-\beta'_{25}$, $5-\beta'_{15}$, $6-\beta'_{16}$

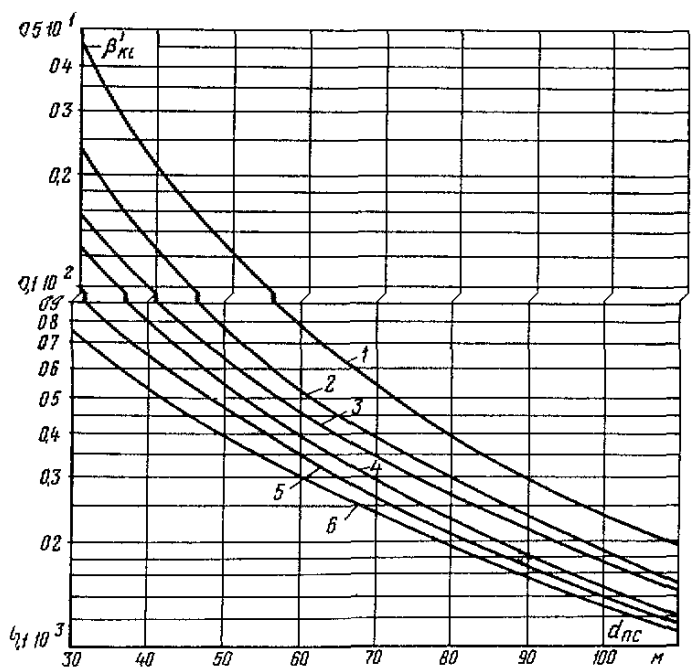


Рис.4.4 *б*. Зависимость коэффициента емкостной связи между ВЛ 220 кВ от ширины параллельного сближения.

$1-\beta'_{34}$, $2-\beta'_{24}$, $3-\beta'_{14}$, $4-\beta'_{25}$, $5-\beta'_{15}$, $6-\beta'_{16}$

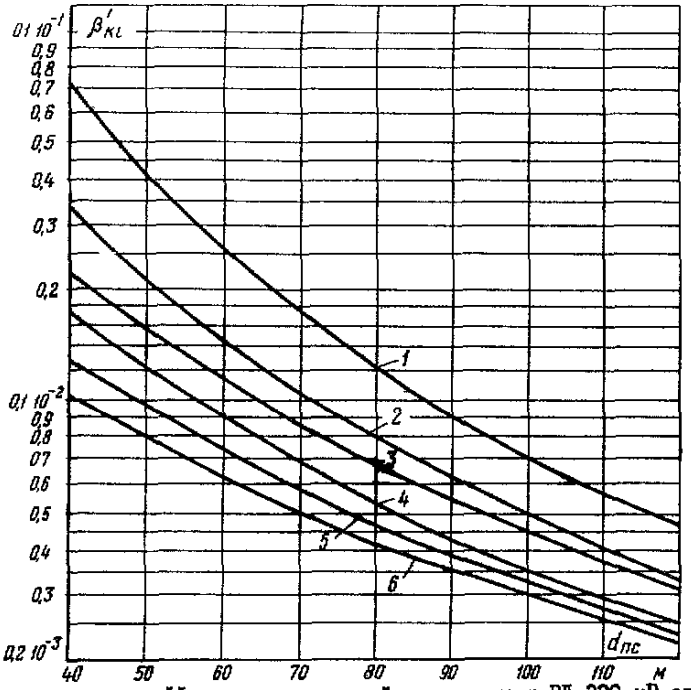


Рис.4.4 *б*. Зависимость коэффициента емкостной связи между ВЛ 330 кВ от ширины параллельного сближения:
$1-\beta'_{34}$, $2-\beta'_{24}$, $3-\beta'_{14}$, $4-\beta'_{25}$, $5-\beta'_{15}$, $6-\beta'_{16}$

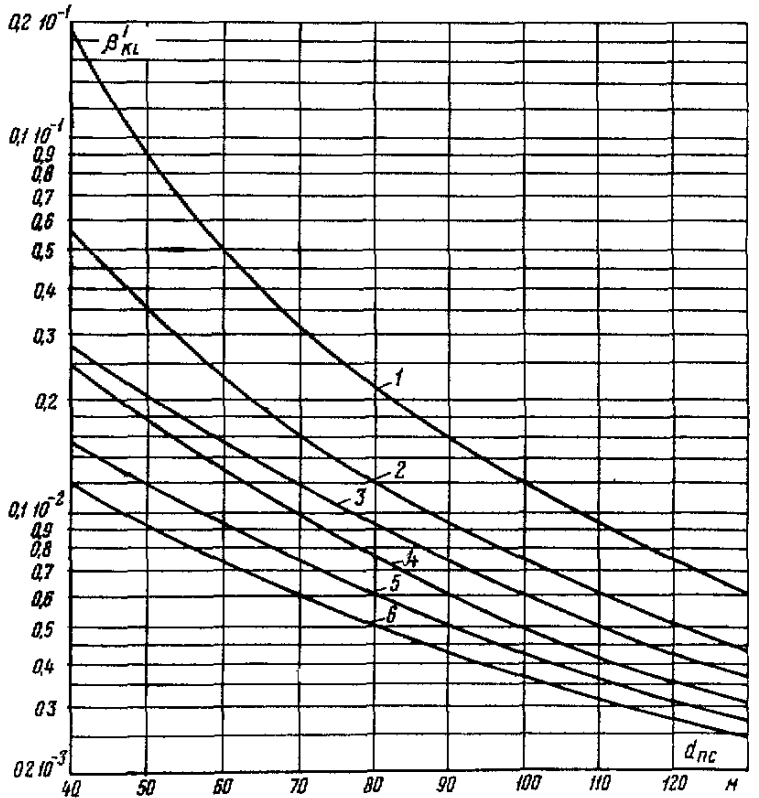


Рис.4.4 *г*. Зависимость коэффициента емкостной связи между ВЛ 500 кВ от ширины параллельного сближения:
$1-\beta'_{34}$, $2-\beta'_{24}$, $3-\beta'_{14}$, $4-\beta'_{25}$, $5-\beta'_{15}$; $6-\beta'_{16}$

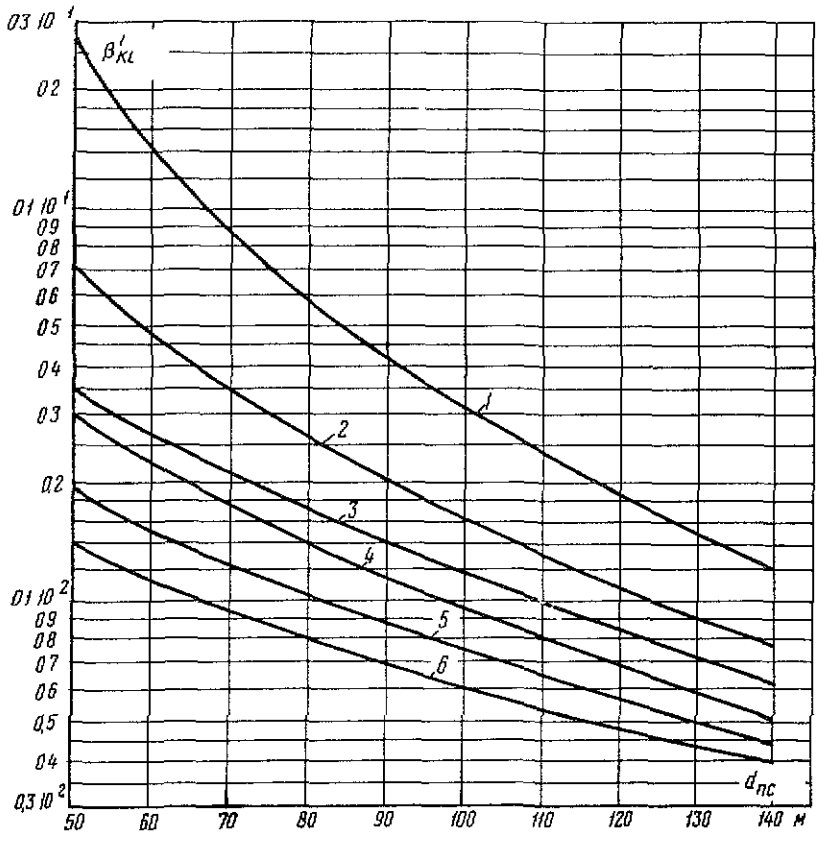


Рис.4.4 *д*. Зависимость коэффициента емкостной связи между ВЛ 750 кВ от ши параллельного сближения.

$1-\beta'_{34}$, $2-\beta'_{24}$, $3-\beta'_{14}$, $4-\beta'_{25}$, $5-\beta'_{15}$, $6-\beta'_{16}$

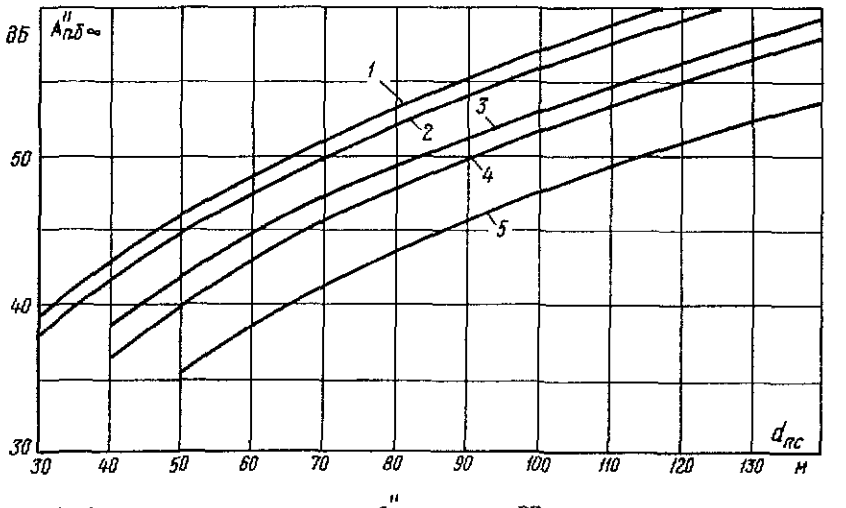


Рис.4.5. Кривые для определения $A''_{пдб\infty}$ для ВЛ с горизонтальным расположением проводов напряжением 110 кВ (1), 220 кВ (2), 330 кВ (3), 500 кВ (4), 750 кВ (5)

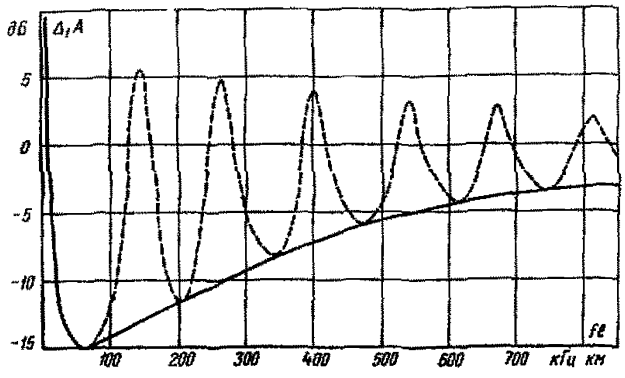


Рис.4.6. Зависимость $\Delta_1 A = \varphi(f\ell_{пс})$:
расчетная зависимость, принимающая во внимание возможную погрешность в определении $\beta_0 \ell$; – – – – – теоретическая зависимость

4.3. Переходное затухание между трактами по ВЛ, заходящими на разные подстанции и имеющие параллельное сближение на трассе их прохождения

4.3.1. Рассматривается случай сближения ВЛ, показанный на рис.4.7, при условии, что электромагнитная связь между линиями вне участка сближения отсутствует.

4.3.2. Переходное затухание на ближнем $A_б$ и дальнем $A_д$ концах (см.рис.4.7) в общем случае должно определяться на ЭВМ по программе "Тракт" или по методике приложения 6. Оценка значений $A_б$ и $A_д$ может быть сделана по упрощенным формулам для случая, когда обе ВЛ с горизонтальным расположением проводов, и при условии, что тракты организованы по схеме средняя фаза-земля, а длины ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 и ℓ_4 таковы, что затухание волны "все провода-земля" на этих длинах превышает 40 дБ.

4.3.3*. При соблюдении условий п.4.3.2 переходное затухание на ближнем конце ($A_б$ на рис.4.7) может быть оценено, как:

при $\beta_1 \ell_{пс} \leqslant \pi/2$

$$A_б = \alpha_1(\ell_1 + \ell_3) + A_{б\infty} - \Delta_2 A, \qquad (4.11)$$

$$A_{б\infty} = 20 \lg \left| \frac{2g}{P_1 + jQ_1} \right| , \qquad (4.12)$$

$$\Delta_2 A = 20 \lg \left| 1 - [\cos(2\beta_1 \ell_{пс}) + j \sin(2\beta_1 \ell_{пс})] \right|, \qquad (4.13)$$

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= 0{,}96 F_{14} - 0{,}65(F_{15} + F_{24}) + 0{,}17(F_{16} + F_{34}), \\ Q_1 &= 24\beta'_{14} + 11{,}5\beta'_{25} - 24(\beta'_{15} + \beta'_{24}) + 5{,}75 \times \\ &\quad \times (\beta'_{16} + \beta'_{34}); \end{aligned}\right\} \qquad (4.14)$$

при $\beta_1 \ell_{пс} > \pi/2$

$$A_б = \alpha_1(\ell_1 + \ell_3) + A_{б\infty} - \Delta_3 A, \qquad (4.15)$$

$$\Delta_3 A = 20 \lg\left(1 - e^{-0{,}23\alpha_1 \ell_{пс}}\right) \qquad (4.16)$$

Значения $F_{K\iota}$ и $\beta'_{K\iota}$ ($K = 1,2,3$; $\iota = 4,5,6$) определяются так же, как и в п.4.2.1.4.

На рис.4.8 приведена зависимость значений $A_{б\infty}$ для линий одного класса напряжения от ширины параллельного сближения $d_{пс}$, полученная по (4.12) для типовых конструкций ВЛ. На рис.4.9 и 4.10 приведены зависимости $\Delta_2 A$ и $\Delta_3 A$ от $\beta_1 \ell_{пс}$ и $\alpha_1 \ell_{пс}$, определяющие зависимость $A_б$ от длины параллельного сближения.

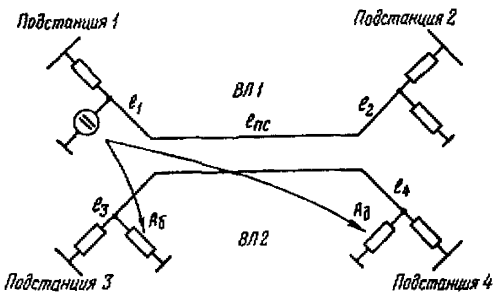


Рис.4.7. Схема сближения ВЛ, заходящих на разные подстанции (к определению $A_б$ и $A_д$)

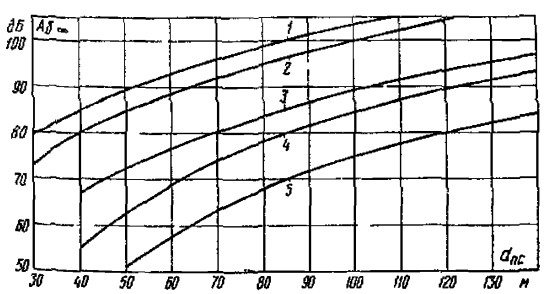


Рис.4.8. Зависимость $A_{б\infty}$ от ширины параллельного сближения ВЛ 110 кВ (1), 220 кВ (2), 330 кВ (3), 500 кВ (4), 750 кВ (5)

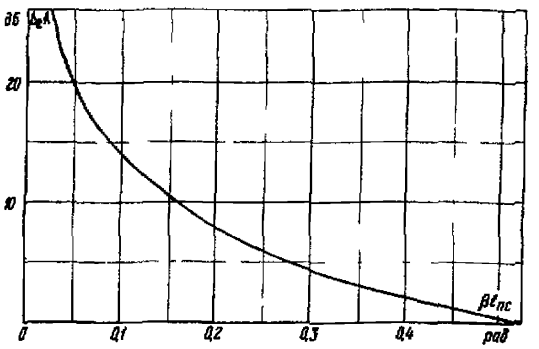


Рис.4.9. Поправка $\Delta_2 A$ к значению $A_{б\infty}$

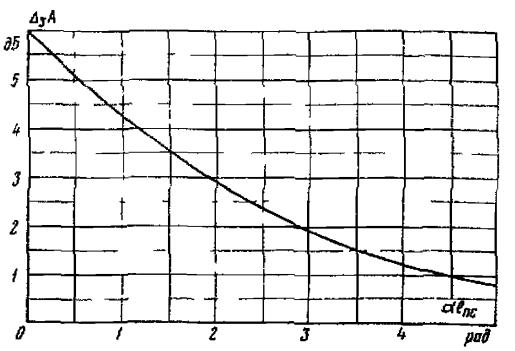


Рис.4.10. Поправка $\Delta_3 A$ к значению $A_{б\infty}$

4.3.4*. При соблюдении условий п.4.3.2 переходное затухание на дальнем конце ($A_д$ на рис.4.7) может быть оценено, как

$$A_д = \alpha_1(\ell_1 + \ell_{пс} + \ell_4) + A_{д\infty} - 20 \lg(\beta \ell_{пс}), \qquad (4.17)$$

$$A_{д\infty} = 20 \lg\left|\frac{700}{p - jQ}\right|, \qquad (4.18)$$

где значения всех величин определяются так же, как в п.4.2.1.4.

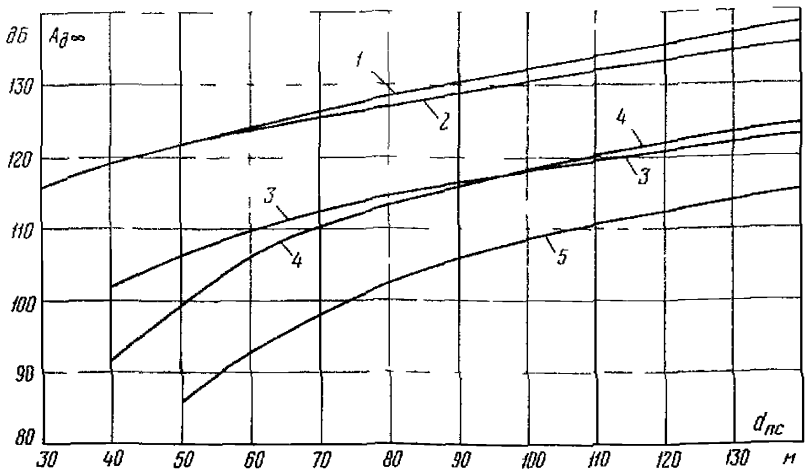


Рис.4.II. Зависимость $A_{\partial\infty}$ от ширины параллельного сближения ВЛ II0 кВ (I), 220 кВ (2), 330 кВ (3), 500 кВ (4), 750 кВ (5)

На рис.4.II приведена зависимость $A_{\partial\infty}$ от ширины параллельного сближения $d_{пс}$ для линий одного класса напряжения, полученная по (4.I8) для типовых конструкций ВЛ.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ СХЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ВЧ ТРАКТОВ

5.I. Общие рекомендации

5.I.I. При выборе схемы организации ВЧ тракта следует учитывать рекомендации разд.3.2 по выбору рабочего провода (при присоединении фаза-земля) или рабочих проводов (при присоединении фаза-фаза) и по ограничению диапазона частот, передаваемых по тракту.

5.I.2*. Выбор схемы присоединения к ВЛ (*фаза-земля или фаза-фаза*) должен производиться следующим образом:

затухание тракта и уровень помех от короны на выходе тракта должны быть такими, чтобы обеспечить необходимое для канала связи, организуемого по рассчитываемому тракту, соотношение сигнала и помехи при нормируемом запасе по затуханию;

максимальная неравномерность затухания тракта, вызванная волнами, многократно отраженными от мест нарушения однородности ВЛ, не должна превышать допустимую для канала связи, организуемого по рассматриваемому тракту;

нестабильность затухания тракта, вызванная переключениями высоковольтного оборудования на подстанциях, входящих в схему тракта, не должна превышать допустимую.

Как правило, для трактов с простой схемой рекомендуется применять присоединения к ВЛ по схеме фаза-земля. Для трактов по ВЛ 220 кВ и ниже со сложной схемой (в схему тракта входят более одного ответвления или обхода, ответвление и обход, кабельные вставки) предпочтительным является выбор схемы присоединения фаза-фаза.

5.I.3*. Рекомендуемые схемы присоединения при организации тракта по схеме фаза-фаза приведены на рис.5.I.

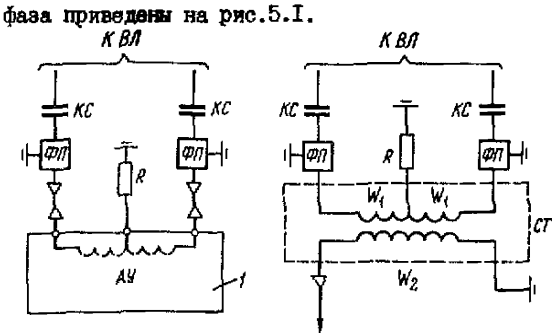


Рис.5.I. Схема присоединения к ВЛ при организации ВЧ тракта по схеме фаза-фаза:

а – с симметричным или двумя несимметричными ВЧ кабелями и с аппаратурой уплотнения, имеющей симметричный выход со средней точкой, R = I00 Ом; *б* – с симметрирующим трансформатором ($n = W_1/W_2 = 0{,}71$) и одним несимметричным ВЧ кабелем, R = I00 Ом

I 1 [illegible] четными, [illegible] которых определяются значения коэффициентов отражения междуфазных волн напряжения от концов БЛ, принимаются

а) холостой ход (линия отключена), при этом

$$q_{нр}=\infty\ ,\quad q_{р}=q_{фл}\ , \qquad (5.I)$$

б) короткое замыкание (линия отключена и заземлена на линейных разъединителях), при этом

$$q_{нр}=0\ ,\quad q_{р}=q_{фл}q_{з}/(q_{фл}+q_{з}). \qquad (5.2)$$

Примечание. Для внутрифазных и внутритросовых трактов в том случае, когда заградитель и фильтр присоединения не составляют единую схему, $q_{р}$ определяется по (5.2).

5.2 Тракт с ответвлениями

5.2.I* Ответвление, не используемое для организации связи, может не обрабатываться лишь тогда, когда длина ответвления меньше I/8 длины волны максимальной передаваемой по тракту частоты $f_{в}$ при соблюдении следующих условий

а) возможность заземления конца ответвления может не учитываться;

б) при расчете подстанция на конце ответвления в рассматриваемом диапазоне частот заменяется эквивалентной емкостью;

в) длина ответвления не превышает $\ell_{отв\ доп}$, определяемой по формуле

$$\ell_{отв\ доп}=\frac{\Psi_{доп}+arctg\left(\frac{380\ 10^{3}}{f_{в}\ C_{пс}}\right)-\frac{\pi}{2}}{0{,}0225 f_{в}}\ , \qquad (5.3)$$

где $\Psi_{доп}$ – угол Ψ, при котором значения $a_{отв}$ [формула (3.59)] и $K_{отв}$ [формула (3.63)] не превосходят допустимых значений.

5.2.2. Для уменьшения затухания $a_{отв}$ и коэффициентов отражения $K_{отв}$ для ответвления, не используемого для организации связи, обычно используют заградители, включаемые в ответвления в месте его подключения к основной линии. Если подвеска заградителей в месте подключения ответвления или на расстоянии от этого места, не превышающем $\ell_{доп}$, определяемым по (3.7I), невозможна, то используют фильтры присоединения и заградители, включаемые обычным образом в конце ответвления. При этом фильтры присоединения должны быть нагружены со стороны зажимов "ВЧ кабель" на сопротивление 75 Ом.

5.3. Тракт с обходами

5.3 I. Если для организации тракта с обходом используется схема присоединения фаза-земля, то рекомендуется использовать фильтры присоединения с трансформаторной схемой и выбирать схему включения обмоток трансформатора и рабочие частоты канала связи таким образом, чтобы передаваемые по тракту полосы частот находились вне зоны повышенного затухания (см.п.3.4.5).

5.3.2. При наличии на ВЧ обходе параллельно подключенной аппаратуры уплотнения (АУ) ее рекомендуется подключать к обходу через Г-образный удлинитель, если ВЧ канал на частотах данной АУ не оканчивается на этом обходе (рис.5.2). Примерные значения сопротивлений r_1 и r_2 Г-образного удлинителя и значения затухания, вносимого в сквозной тракт и в тракт, оканчивающийся на обходе, даны на рис.5.2.

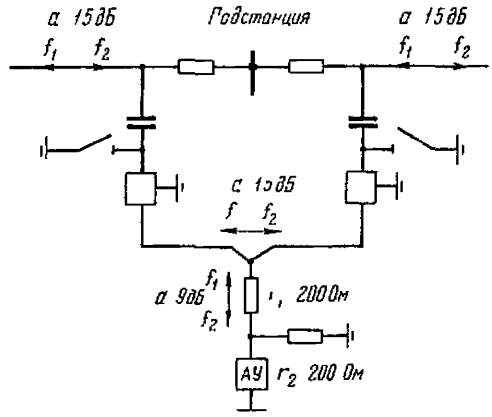


Рис.5.2. Схема подключения аппаратуры уплотнения в схеме обхода через Г-образный удлинитель

Если ВЧ канал на частотах данной АУ оканчивается на обходе, то последовательно в цепь обхода рекомендуется включать разделительный фильтр, как это показано на рис.5.3.

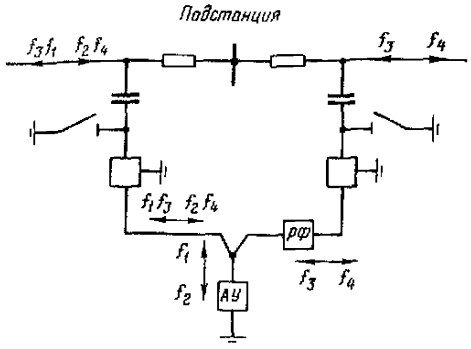


Рис.5.3. Схема включения разделительного фильтра

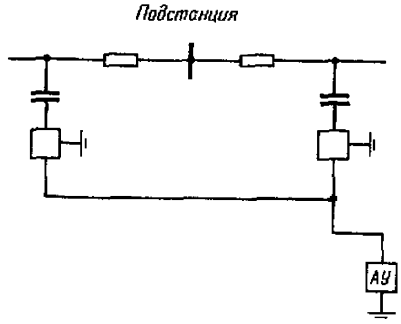


Рис.5.4. Нерекомендуемая схема включения аппаратуры уплотнения на обходе

5.3.3*. Не рекомендуется подключать аппаратуру уплотнения на обходе ответвлением, как показано на рис.5.4. Рекомендуемые схемы даны на рис.5.2 и 5.3.

Приложение I.

УКАЗАНИЯ ПО ПОЛЬЗОВАНИЮ ПРОГРАММАМИ "ТРАКТ", "*NOISE*", "ТРАКТ-85" и "ЕОП-86"

I. ПРОГРАММА "ТРАКТ"[I]

I.I. Общие сведения

Программа многофазовая, написана в ОС на языке ФОРТРАН-IУ, требует для работы 350 К оперативной памяти и файл на диске с длиной записи I000 байтов.

Программа дает возможность расчета параметров ВЧ тракта, в состав которого входят: однородные участки ВЛ, транспозиция проводов ВЛ, ответвления от ВЛ, шунтирующие резисторы, последовательно включенные резисторы, устройства присоединения к ВЛ, обходы промежуточных подстанций, многополюсники с разным числом полюсов (изменение числа проводов ВЛ - рис.П1.I).

В библиотеке абсолютных модулей созданы три версии программы, имеющие отличия в определении затухания тракта и в печати результатов расчета.

В программе *PHAS8* затухание тракта считается для схем присоединения провод-земля и два провода-земля, а при условии включения нагрузки между проводами и для схемы провод-провод. Печать результатов расчета полная.

В программе *NAME7* затухание тракта считается для схем присоединения фаза-земля и фаза-фаза при произвольной схеме включения нагрузки. Печать результатов полная.

Программа *DELET 7* аналогична программе *NAME 7*, но в ней исключена печать числа итераций при диагонализации матриц, что уменьшает расход бумаги при расчетах эквивалентных модальных параметров ВЛ с учетом провисания проводов в пролетах и при расчетах трактов с большим числом ВЛ разных групп.

Программа состоит из отдельных блоков (программ), описывающих расчет и составление матриц Y многополюсников, входящих в тракт, и ведущей программы, определяющей порядок расчета согласно заданной схеме тракта.

[I] Алгоритм расчета и более подробное описание программы с инструкцией по работе с ней приведены в отчетах ВНИИЭ.

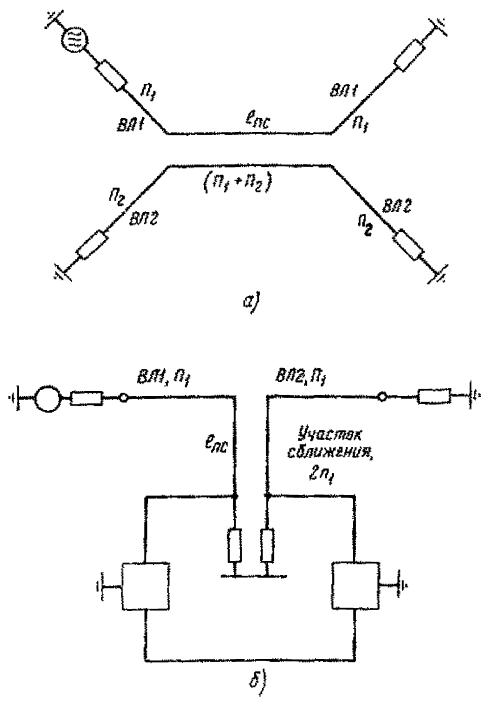


Рис.III.1. Неоднородности типа изменения числа проводов:

а – ВЛ1 с числом проводов n_1, по которой организован ВЧ тракт, имеет параллельное сближение с ВЛ2 (число проводов n_2) на участке $\ell_{пс}$. Общее число проводов на участке параллельного сближения ($n_1 + n_2$); *б* – ВЛ1 и ВЛ2 с числом проводов n_1 каждая, по которым организован ВЧ тракт с обходом, имеют на подходе к подстанции обхода параллельное сближение на участке $\ell_{пс}$. Общее число проводов на участке параллельного сближения $2n_1$

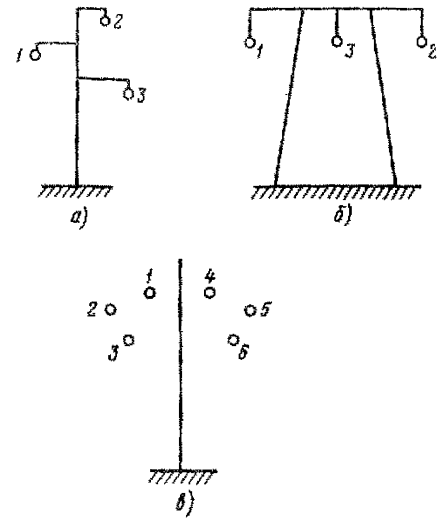


Рис.III.2. Учет симметрия в расположении проводов ВЛ:

а – нет симметрии (нумерация проводов произвольная); *б* – симметрия первого типа. Сначала нумеруются провода, находящиеся по одну сторону симметрии, затем по другую сторону и, наконец, находящиеся в плоскости симметрии; *в* – симметрия второго типа. Сначала нумеруются все провода, находящиеся по одну сторону симметрии, а затем по другую сторону с учетом зеркальности отображения.

Примечание. Любую из этих линий можно считать и без учета симметрии. В этом случае нумерация проводов любых ВЛ произвольная.

В программе предусмотрены цикл по частоте и цикл по схемам присоединения к ВЛ.

В программе имеется возможность расчета параметров тракта не только между его концами, но и между его началом и заданными точками тракта.

Определение модальных параметров ВЛ и последующее составление матрицы Y однородного участка ВЛ производится с учетом симметрии в расположении проводов ВЛ (рис.III.2), если эта симметрия имеет место. Учет симметрии в расположении проводов значительно уменьшает необходимую продолжительность расчета.

Предусмотрена возможность определения эквивалентных модальных параметров ВЛ с провисающими проводами и с периодически повторяющимися неоднородностями типа шунтирующих сопротивлений, представляющих емкость проводов и тросов на опору и проводимость изоляторов, поддерживающих провода и тросы. При этом может учитываться, что длина пролетов между смежными опорами ВЛ является случайной величиной, распределенной по нормальному закону с заданными параметрами.

Программа дает возможность расчета модальных параметров ВЛ с расщепленными фазами при условии, что только часть проводов, составляющих расщепленную фазу, соединяется металлическими распорками.

При этом расщепленная фаза линии задается как состоящая из изолированных проводов и указывается, какие из этих проводов соединяются металлическими распорками (объединяются).

В программе предусмотрена возможность задания исходного материала по однородным участкам ВЛ, отличающихся только длинами, а также по одинаковым транспозициям, одинаковым шунтирующим и последовательным сопротивлениям и обходам с одинаковой схемой, всего один раз.

Вывод на печать исходных данных и результатов расчета производится с необходимыми пояснительными надписями. Параметры тракта - затухание и входное сопротивление для заданных схем присоединения печатаются всегда. Печать модальных параметров ВЛ, входящих в схему тракта, токов и напряжений в начале, конце и промежуточных точках тракта делается по специальному указанию при необходимости.

Продолжительность расчета на одной частоте зависит от схемы тракта и числа проводов ВЛ. Параметры тракта, состоящего из восьми однородных участков семипроводной ВЛ 1150 кВ и семи пунктов транспозиции с расчетом эквивалентных параметров ВЛ, рассчитываются за сорок секунд.

1.2. Некоторые ограничения при расчетах

Максимальное число многополюсников, входящих в схему тракта, равно 900.

Максимальный порядок блоков матрицы Y, описывающих многополюсник (число мод), равно 12.

Максимальное число проводов ВЛ равно 24 (после объединения проводов их число не должно превышать 12).

Максимальное число промежуточных точек тракта, для которых производится расчет параметров тракта, равно 3. Эти точки могут располагаться или только на основном тракте, или только на ответвлениях. При этом на ответвлении они могут располагаться только в конце основного ответвления.

Максимальное число пролетов со случайными длинами при определении эквивалентных параметров ВЛ с периодическими шунтовыми неоднородностями равно 100.

Максимальное число групп ВЛ с разными параметрами равно 59.

Максимальное число ВЛ с одинаковыми параметрами, входящих в одну группу, равно 150. Для остальных неоднородностей ограничений нет.

Максимальное число схем присоединения на приемной стороне тракта, считающихся в одном цикле, равно 5. В промежуточной точке тракта, если она имеется, число схем присоединения ограничивается одной.

Максимальное число вариантов по схемам включения ЭДС на передающей стороне тракта равно 5. При наличии в тракте промежуточной точки, в которой необходимо определить токи и напряжения всех полюсов, допускается только один вариант по схемам включения ЭДС.

Схема тракта не может начинаться или кончаться неоднородностью типа "изменение числа проводов" и "ответвление".

Максимальное число частот, для которых может производиться расчет, равно 30.

2. ПРОГРАММА "*NOISE*" ДЛЯ РАСЧЕТА НА ЭВМ СЕРИИ ЕС УРОВНЯ ВЧ ПОМЕХ ОТ КОРОНЫ В ЛИНЕЙНЫХ ТРАКТАХ ПО ВЛ СВН[1]

2.1. Общие сведения

Программа написана на языке ФОРТРАН-IУ в операционной системе ОС во ВНИИЭ по алгоритму, приведенному в [8] . Программа дает возможность расчета на ЭВМ уровней ВЧ помех от короны для заданных схем присоединения к линейному тракту, в схему которого могут входить линия, транспозиция проводов и шунт, с помощью которого можно задавать повреждения, связанные с замыканием проводов между собой и на землю.

Уровни помех в трактах с присоединением по схеме провод-земля (для всех возможных схем присоединения) считаются и выводятся на печать всегда. Для определения помех в тракте с присоединением по схеме провод-провод необходимо специально задавать номера проводов, для которых расчет должен быть сделан.

Кроме суммарного уровня помех, обусловленного коронированием всех проводов ВЛ, для указанных выше схем присоединения выводится на печать таблица с указанием уровней помех в каждом из трактов от коронирования каждого из проводов ВЛ отдельно. Эти составляющие суммарного уровня помех бывают необходимы

---

[1] Алгоритм расчета и подробное описание программы с инструкцией по работе с ней приведены в отчетах ВНИИЭ.

для определения помехозащищенности каналов передачи дискретной информации и при анализе полученных результатов расчетов.

В программе имеется возможность задания для произвольного числа участков линий, входящих в тракт, повышенной генерации помех (коэффициент повышения генерации одинаков для всех проводов данного участка линии). Это оказывается полезным при исследованиях влияния на уровень помех разного рода причин, повышающих генерацию ВЧ помех, например дождя.

Расчеты производятся с учетом всех падающих и преломленных волн, но без учета многократно (более одного раза) отраженных волн. Кроме того, имеется возможность рассчитывать уровни помех в нагрузке, включенной на одном конце опытной линии, при условии, что на противоположном конце линия полностью изолирована. Этот расчет производится с учетом всех падающих, преломленных и отраженных волн.

Для проведения расчетов в библиотеке абсолютных модулей созданы две версии программы.

В программе "*NOISE*" считается уровень помех в произвольном тракте с описанной схемой или в опытной линии при произвольной нагрузке проводов в месте определения помех.

В программе "*DINNOISE*" считается напряжение и ток помех в опытной линии при условии нагрузки этой линии на волновое сопротивление (второй конец этой линии, как уже оговаривалось, изолирован).

В программе предусмотрены:

циклы по частоте и схемам присоединения;

определение модальных параметров ВЛ с учетом симметрии относительно вертикальной плоскости в расположении проводов (если эта симметрия имеется);

определение эквивалентных модальных параметров ВЛ с учетом периодически повторяющихся неоднородностей типа провисания проводов и шунта. Имеется возможность учета того, что длины пролетов являются случайными величинами, распределенными по нормальному закону;

возможность расчета модальных параметров ВЛ с расщепленными фазами при условии, что только часть проводов, составляющих расщепленную фазу, соединяется металлическими распорками;

возможность задания исходного материала по однородным участкам ВЛ, отличающихся только длиной, и по одинаковым транспозициям всего один раз;

вывод на печать исходных данных и результатов расчетов с необходимыми пояснительными надписями. Печать модальных параметров ВЛ производится по специальному требованию.

2.2. Некоторые ограничения при расчетах

Максимальное число многополюсников, входящих в тракт для программы *NOISE* , не более 80.

Максимальный порядок блоков матриц Y многополюсника (число мод) $n \leq 12$.

Максимальное число проводов ВЛ равно 12 (если не предусматривается объединение каких-либо проводов) или 24 (если предусматривается объединение проводов, причем после объединения их число не должно превышать 12).

Максимальное число частот $n_f \leq 20$.

Схема тракта описывается, начиная с того конца линии, где определяются помехи. Первым элементом тракта может быть только линия.

Сопротивления нагрузки, включенные между проводом и землей и между проводами, должны быть больше 1,0 Ом.

В числе результатов расчета на печать выдается напряженность поля на поверхности проводов.

2 3. Некоторые особенности при расчете уровня помех во внутрифазном и внутритросовом трактах

2 3 I Внутрифазный тракт по фазам, расщепленным на два провода

Генерация помех, приведенная в [I] , получена на основании измерений уровня помех в схеме фаза-земля, а в схеме провод-провод расщепленной фазы генерация помех больше, чем в схеме фаза-земля той же линии на значение $\Delta\Gamma$ [8]

$$\Delta\Gamma = 20\lg\left\{\left[\ln(2h/r_{пр})/\ln(a/r)\right]/\sqrt{2}\right\}, \quad (III.1)$$

которая для шага расщепления a = 40 см и усредненных для ВЛ 330 кВ высот подвеса проводов h и радиусов проводов r составляют

$$\Delta\Gamma = 3{,}8 \text{ дБ}. \quad (III.2)$$

Так как уровень помех во внутрифазном (ВФ) тракте обуславливается практически только коронированием проводов "своей" фазы, базисная генерация (амплитудное значение) при расчете помех в ВФ тракте должна увеличиваться на 3,8 дБ и приниматься равной +I,8 дБ вместо обычно используемого значения -2 дБ.

При этом следует иметь в виду, что уровни помех в трактах со схемами фаза-земля и фаза-фаза в этом случае будут завышены на 3,8 дБ. Для определения помех в этих трактах следует сделать расчет, в котором расщепленная фаза представляется обычным образом с неизолированными составляющими фазы.

Кроме того, при расчете уровня помех во внутрифазном тракте следует иметь в виду, что задание исходного материала по линии в этом случае формально производится так, что фаза с изолированными составляющими задается как два отдельных провода. При этом напряженность поля на поверхности каждого из проводов, составляющих расщепленную фазу, рассчитывается без учета коэффициента неравномерности распределения заряда по поверхности провода и расчетный уровень помех во внутрифазном тракте необходимо увеличивать на

$$\Delta\rho_{пом} = 2{,}3\cdot 10^{-5}(E_{макс} - E_{ср}) = 4{,}6\cdot 10^{-5} E_{ср}\, r/a, \quad (III\ 3)$$

где $E_{макс}$ – напряженность поля на поверхности провода расщепленной фазы, выводимая на печать при расчете и определяемая с учетом коэффициента неравномерности распределения заряда, В/м,

$E_{ср}$ – напряженность поля на поверхности провода расщепленной фазы, выводимая на печать при расчете и определяемая без учета коэффициента неравномерности распределения заряда, В/м,

r – радиус проводов, составляющих расщепленную фазу,

a – шаг расщепления.

2 3.2. Внутритросовый тракт

Уровень помех во внутритросовом (ВТ) тракте определяется в программе по следующей формуле (написанной здесь для примера ВТ тракта трос I – трос 2).

$$\rho_{ВТ_{1-2}} = 10\lg\left(\frac{U_{T1}^2+U_{T2}^2+U_{Ф1}^2+U_{Ф2}^2+U_{Ф3}^2+U_{T3}^2+U_{T4}^2}{R_н}\right), \quad (III.4)$$

где U_{T1}, U_{T2} – напряжения помех в ВТ тракте трос I – трос 2 от коронирования "своих" тросов,

$U_{Ф1}, U_{Ф2}, U_{Ф3}$ – то же от коронирования фаз,

U_{T3}, U_{T4} – то же от коронирования проводов "чужого" расщепленного троса.

Как уже было указано в п.2 3.I, генерация при определении доли уровня помех в ВТ тракте от коронирования "своих" тросов должна увеличиваться на значение, определенное по (III.I), а при определении доли помех, обусловленных коронированием фаз и "чужих" тросов, поправка к генерации учитываться не должна.

Кроме того, доля уровня помех, обусловленная коронированием тросов, должна увеличиваться на значение, определяемое по (III 3).

3. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ СВЯЗИ ПО ВЛ, ПРОХОДЯЩИМ В РАЙОНАХ С ВЫСОКИМ УДЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И СЛОИСТОЙ СТРУКТУРОЙ ГРУНТА "ТРАКТ-85"[I]

3.1. Общие сведения

Программа написана на языке ПЛ/I ОС ЕС ЭВМ. Все арифметические операции с нецелыми числами выполняются в программе с двойной точностью. Программа требует для работы примерно 320 К байт оперативной памяти. Значение требуемого объема памяти определяется числом проводов ВЛ, типов опор ВЛ, типов различных неоднородностей, участков трассы ВЛ с постоянными характеристиками грунта и числом частот, на которых делается расчет.

Для использования программу необходимо записать в библиотеку загрузочных модулей.

В программе предусмотрены циклы по высотам проводов, удельному сопротивлению грунта, частоте, схемам присоединения к ВЛ на стороне приема и на стороне возбуждения.

Расчет модальных параметров ВЛ можно производить с учетом геометрической симметрии ВЛ, если таковая имеет место.

Предусмотрена возможность учета емкостей на опору и сопротивлений изоляторов. При этом длины пролетов считаются распределенными по нормальному закону.

Предусмотрена возможность расчета с учетом или без учета поперечных электрических полей и токов в земле (по Карсону).

Модель грунта может быть однослойной или двухслойной.

На размерности всех массивов ограничения отсутствуют.

3.2. Некоторые ограничения при расчетах

Все ВЛ, входящие в схему тракта, должны иметь одинаковое число проводов.

Неоднородности, входящие в схему тракта, могут быть лишь следующих типов: транспозиция, шунтирующее сопротивление, последовательное сопротивление.

На стороне возбуждения ЭДС одним полюсом должны быть подключены к земле.

В начале схемы тракта не могут находиться: два шунта, две транспозиции, шунт и транспозиция.

[I] Алгоритм расчета и более подробное описание программы приведено в отчете НИИПТ.

4. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ЧАСТИЧНЫХ ЕМКОСТЕЙ ПРОВОДОВ НА "ТЕЛО" ОПОРЫ "ЕОП-86"[I]

4.1. Общие сведения

Программа написана на языке ПЛ/I ОС ЕС ЭВМ. Значение требуемого для работы объема оперативной памяти (256 К байт) определяется суммарным числом участков, на которые разбиваются провода, опоры, экраны и арматура.

Для использования программу необходимо записать в библиотеку загрузочных модулей.

Расчет можно производить с учетом геометрической симметрии проводов и тросов относительно плоскости опоры.

Кроме своего основного назначения, программа может быть использована для расчета частичных емкостей в произвольной системе "тел".

Предусмотрено автоматическое разбиение прямых и провисающих проводов на участки равной либо различной длины, тороидов на участки равной длины.

4.2. Некоторые ограничения при расчетах

Расчет производится без учета эффекта близости, т.е. предполагается равномерное распределение заряда по поверхности каждого участка.

В программе возможен учет следующих типов "тел": прямых и провисающих проводов, цилиндров, сфер, полных и неполных тороидов.

Общее число участков всех "тел" не должно превосходить 361.

Приложение 2

МОДАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИММЕТРИЧНЫХ И НЕСИММЕТРИЧНЫХ ВЛ

I. Общие положения

Многопроводная линия с числом проводов (фаз и тросов), равным n, характеризуется следующими параметрами [I], [8]:

γ - диагональная комплексная матрица n-го порядка модальных коэффициентов распространения. Каждый S-й ($S = 1,2,\ldots,n$) элемент этой матрицы соответствует коэффициенту распространения S-й моды $\gamma_S = \alpha_S + j\beta_S$;

$Z_{\beta M}$ - диагональная комплексная матрица n-го порядка волновых сопротивлений мод. Каждый S-й элемент этой матрицы ($S = 1,2,\ldots,n$) соответствует волновому сопротивлению S-й моды $Z_{\beta MS}$;

λ - квадратная комплексная матрица n-го порядка преобразования модальных напряжений (модальные координаты) в напряжения проводов ВЛ (фазные координаты). Номер столбца этой матрицы соответствует номеру моды, а номер строки - номеру провода. Иногда вместо матрицы λ для описания перехода от модальных координат к фазным координатам используют матрицу δ - квадратная комплексная матрица n-го порядка преобразования модальных токов в токи проводов ВЛ.

Матрицы λ и δ связаны между собой соотношением

$$\delta = (\lambda^{-1})' D, \qquad (П2.1)$$

где D - диагональная комплексная матрица n-го порядка, нормализующая элементы столбцов матрицы δ по выбранному правилу. В СССР принято, что элементы матрицы D составляются из чисел обратных элементам первой строки матрицы $(\lambda^{-1})'$.

При анализе волновых процессов в ВЛ, кроме приведенных выше модальных параметров ВЛ, часто используют матрицы волновых сопротивлений Z_β и проводимостей Y_β ВЛ в фазных координатах. Эти комплексные квадратные симметрические матрицы n-го порядка связаны с модальными параметрами соотношениями:

$$\left.\begin{aligned} Z_\beta &= \lambda Z_{\beta M} \delta^{-1}, \\ Y_\beta &= \delta Z_{\beta M}^{-1} \lambda^{-1}. \end{aligned}\right\} \qquad (П2.2)$$

Как показано в [I], [8], с достаточной для практики точностью при расчетах элементы матриц $Z_{\beta M}$, λ, δ, Z_β и Y_β трехпроводных и шестипроводных двухцепных ВЛ можно представить действительными значениями, не зависящими от частоты и удельного сопротивления земли. Элементы матрицы γ могут быть приближенно определены по формулам [I], [8] (написаны для S-го элемента):

$$\gamma_S = 0{,}115\alpha_S + j\beta_S; \qquad (П2.3)$$

$$\alpha_S = (K_{1S} K_3 \sqrt{f} + K_{2S} K_4 f)\, 10^{-3}, \qquad (П2.4)$$

$$\beta_S = 2\pi f / 300 + 0{,}115\, 10^{-3} K_{1S} K_3 \sqrt{f} + K_{5S} K_4 f, \qquad (П2.5)$$

в которых K_{1S}, K_{2S} и K_{5S} - коэффициенты, учитывающие потери в проводах (K_1) и в земле (K_2 и K_5) для S-й моды; K_3 и K_4 - коэффициенты, учитывающие расщепление провода в фазе (см.табл.3.4).

Ниже приводятся значения элементов матриц $Z_{\beta M}$, λ, δ, Z_β и Y_β и формулы для определения коэффициентов в формулах (П2.4) и (П2.5) для определения элементов матриц γ, рекомендуемые для использования при приближенных методах расчета условий распространения колебаний по многопроводным линиям с унифицированными типами промежуточных опор, приведенными в действующем каталоге унифицированных и типовых опор. Кроме этих значений, приводятся также значения элементов, часто используемых в расчетах и при анализе условий, распространения волн по многопроводным линиям матриц λ^{-1} и δ^{-1} (матрицы, обратные матрицам λ и δ).

2. Параметры симметричных ВЛ

Принцип замены реальной несимметричной линии на эквивалентную симметричную показан на рис.П2.1 на примере трехпроводной линии.

Усредненные значения элементов матриц λ, λ^{-1}, δ, δ^{-1}, $Z_{в.м}$, $Z_в$ и $Y_в$ для симметричных линий приведены ниже:

$$\lambda=\delta=\begin{vmatrix} 1; & 1; & 1 \\ -2; & 0; & 1 \\ 1; & -1; & 1 \end{vmatrix};$$

$$\lambda^{-1}=\delta^{-1}=\begin{vmatrix} 1/6; & -1/3; & 1/6 \\ 1/2; & 0 & -1/2 \\ 1/3; & 1/3; & 1/3 \end{vmatrix};$$

$$Z_{в.м}=\frac{1}{K_4}\begin{vmatrix} 380; & 0; & 0 \\ 0; & 380; & 0 \\ 0; & 0; & 650 \end{vmatrix};$$

$$Z_в=\frac{1}{K_4}\begin{vmatrix} 470; & 90; & 90 \\ 90; & 470; & 90 \\ 90; & 90; & 470 \end{vmatrix};$$

$$Y_в=K_4\,10^{-3}\begin{vmatrix} 2{,}27; & -0{,}36; & -0{,}36 \\ -0{,}36; & 2{,}27; & -0{,}36 \\ -0{,}36; & -0{,}36; & 2{,}27 \end{vmatrix}$$

(П2.6)

где K_4 – коэффициент, определяемый по табл.3.4.

При необходимости более точного определения значений волновых сопротивлений модальных составляющих (элементы матрицы $Z_{в.м}$) они могут быть вычислены по формулам [4]:

$$Z_{в.м\,ф}=60\ell n\frac{4hS}{dD}, \qquad (П2.7)$$

$$Z_{в.м\,в}=60\ell n\frac{4hD^{n-1}}{dS^{n-1}}, \qquad (П2.8)$$

где все входящие в формулы величины ясны из рис.П2.1. Коэффициенты $K_{1ф}$, $K_{2ф}$, K_{10}, K_{20}, $K_{5ф}$, K_{50} и K_3, K_4, необходимые для вычисления коэффициентов затухания и коэффициентов фазы междуфазной и "земляной" моды (по П2.4) и (П2.5), определяются следующим образом:

коэффициенты $K_{1ф}$, K_{10}, K_3 и K_4 – в соответствии с табл.3.2 и 3.4; коэффициенты K_{20} и K_{50} – по кривым рис.3.1 или по формулам, приведенным на этом рисунке; коэффициенты $K_{2ф}$ и $K_{5ф}$ определяются по формулам:

$$K_{2ф}=\frac{11S^2K_3}{hD}\,\frac{\Delta P(r)}{2Z_{вф}}, \qquad (П2.9)$$

$$K_{5ф}=\frac{1{,}257S^2}{hD}\,\frac{\Delta Q(r)}{2Z_{вф}}, \qquad (П2.10)$$

в которых значения $\Delta P(r)$ и $\Delta Q(r)$ определяются по графикам рис.П2.2 в зависимости от параметра Карсона r

$$r=8{,}9\cdot10^{-2}D\sqrt{f/\rho_з}. \qquad (П2.11)$$

Формулы для определения $K_{2ф}$ и $K_{5ф}$ получены в [4], но без коэффициента запаса K_3 в (П2.9). Значение этого коэффициента выбирается, исходя из того, что коэффициент затухания междуфазной волны симметричной линии

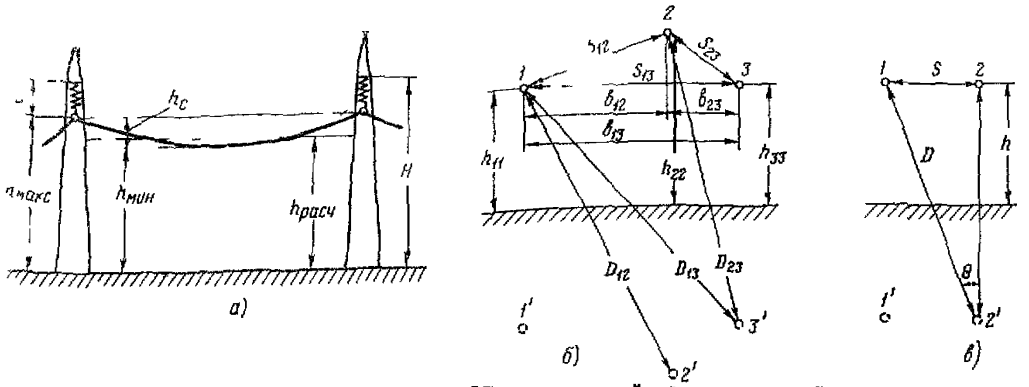


Рис.П2.1. Геометрические размеры ВЛ и заменяющей ее симметричной линии: а – профиль ВЛ; б – расположение проводов трехпроводной ВЛ; в – эквивалентная симметричная линия.

$h_{расч}=H-L$, $h_c=h_{макс}-h_{мин}$, $h_{расч}=h_{макс}-0{,}75h_c$, $S=\sqrt[3]{S_{12}S_{13}S_{23}}$, $h=\sqrt[3]{h_1h_2h_3}$, $D=\sqrt{D_{12}D_{13}D_{23}}\approx\sqrt{4h^2+S^2}$

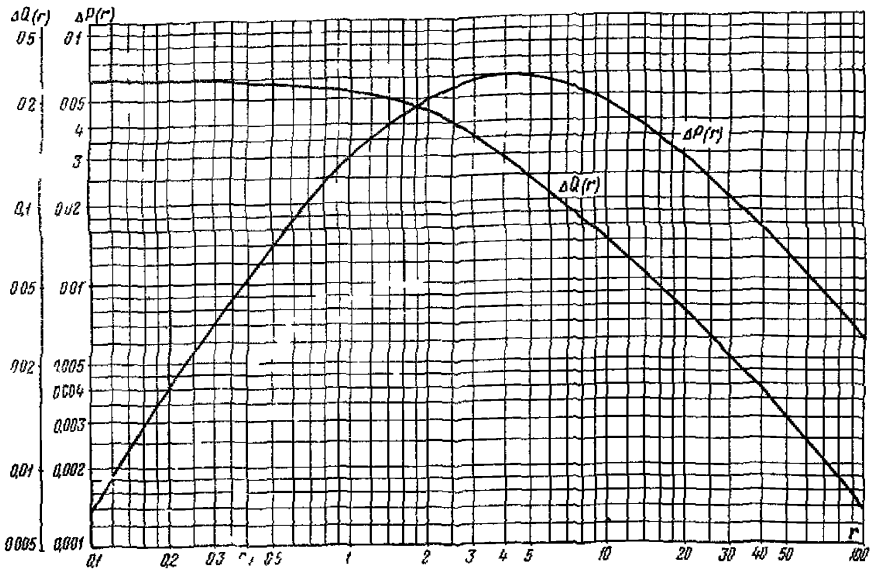


Рис.П2.2. Зависимость $\Delta P(r)$ и $\Delta Q(r)$ от параметра Карсона r

должен быть близок к среднеарифметическому значению между коэффициентами затухания междуфазных волн исходной несимметричной линии с минимальным (мода I) и максимальным (мода n - I) значением этих коэффициентов (без введения коэффициента K_3 значение $K_{2\phi}$ близко к среднегеометрическому). Согласно приведенным расчетам значение K_3 может быть в среднем принято равным I,6.

Значения коэффициентов $\Delta P(r)$ и $\Delta Q(r)$ могут быть вычислены по формулам, полученным аппроксимацией кривых на рис.П2.2.

$$\left.\begin{aligned}\Delta P(r)&=10^{-0{,}084+0{,}25\lg r-\sqrt{2{,}196(\lg r)^2-2{,}04\lg r+2{,}117}}\\ \Delta Q(r)&=10^{-0{,}6578-0{,}285\lg r-0{,}25(\lg r)^2-0{,}917\,10^{-3}(\lg r)^3}\end{aligned}\right\}\quad(П2.12)$$

Расчеты, произведенные по формулам (П2.9) и (П2.10) с K_3 = I,6 для ВЛ 35-220 кВ с унифицированными типами промежу-

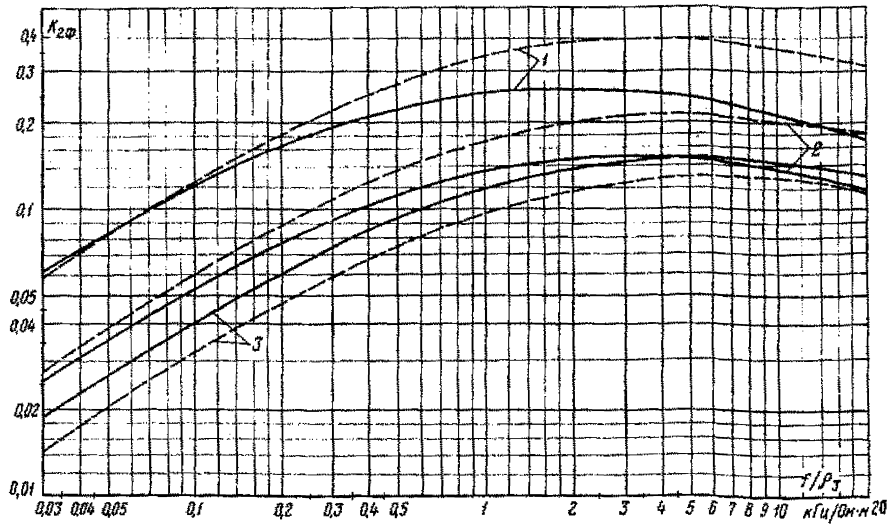


Рис.П2.3. Зависимость коэффициента $K_{2\Phi}$ от отношения f/ρ_3 для симметричных ВЛ 220 кВ (I), II0 кВ (2), 35 кВ (3)
———— для двухцепных ВЛ; — — — для одноцепных ВЛ

точных опор с учетом замены реальных линий симметричной согласно рис.П2.I, дали возможность получить усредненные значения $K_{2\Phi} = \varphi(f/\rho_3)$ для любых значений f и ρ_3. Эти зависимости приведены на рис.П2.3.

3. Параметры несимметричных ВЛ

Усредненные значения элементов матриц λ, λ^{-1}, δ, δ^{-1}, $Z_{\beta M}$, Z_β и Y_β для несимметричных ВЛ приведены ниже:

а) ВЛ с горизонтальным расположением проводов (см.рис.2.2)

$$\lambda = \begin{vmatrix} I & I & I \\ -2,04 & 0 & I,04 \\ I & -I & I \end{vmatrix}; \quad \lambda^{-1} = \begin{vmatrix} 0,I69 & -0,325 & 0,I69 \\ 0,5 & 0 & -0,5 \\ 0,33I & 0,325 & 0,33I \end{vmatrix};$$

$$Z_{\beta M} = \begin{vmatrix} \frac{350}{K_4} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{4I0}{K_4} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{650}{K_4} \end{vmatrix};$$

$$\delta = \begin{vmatrix} I & I & I \\ -I,92 & 0 & 0,98 \\ I & -I & I \end{vmatrix}; \quad \delta^{-1} = \begin{vmatrix} 0,I69 & -0,345 & 0,I69 \\ 0,5 & 0 & -0,5 \\ 0,33I & 0,345 & 0,33I \end{vmatrix}; \quad Z_\beta = \frac{1}{K_4} \begin{vmatrix} 480 & I03 & 60 \\ I03 & 480 & I03 \\ 60 & I03 & 480 \end{vmatrix}$$

$$Y_\beta = K_4 \, 10^{-3} \begin{vmatrix} 2,2I & -0,43 & -0,23 \\ -0,43 & 2,27 & -0,43 \\ -0,23 & -0,43 & 2,2I \end{vmatrix}, \qquad (П2.I3)$$

где K_4 - см.табл.3.4;

б) ВЛ с треугольным расположением проводов (см.рис.2.2)

$$\lambda = \begin{vmatrix} 1; & 1; & 1 \\ -2,03; & +0,34; & 0,87 \\ 0,39; & -1,15; & 0,97 \end{vmatrix}; \qquad \lambda^{-1} = \begin{vmatrix} 0,227; & -0,363; & 0,091 \\ 0,396; & 0,099; & -0,497 \\ 0,377; & 0,264; & 0,406 \end{vmatrix};$$

$$\delta = \begin{vmatrix} 1; & 1; & 1 \\ -1,6; & 0,25; & 0,7 \\ 0,4; & -1,25; & 1,07 \end{vmatrix}; \qquad \delta^{-1} = \begin{vmatrix} 0,227; & -0,461 & 0,089 \\ 0,396; & 0,133; & -0,547 \\ 0,377; & 0,328; & 0,367 \end{vmatrix};$$

$$Z_{вм} = \frac{1}{K_4} \begin{vmatrix} 325; & 0; & 0 \\ 0; & 435; & 0 \\ 0; & 0; & 610 \end{vmatrix}; \qquad Z_в = \frac{1}{K_4} \begin{vmatrix} 470; & 105; & 55 \\ 105; & 490; & 70 \\ 55; & 70; & 470 \end{vmatrix};$$

$$Y_в = K_4 \cdot 10^{-3} \begin{vmatrix} 2,25; & -0,46; & -0,2 \\ -0,46; & 2,18; & -0,27 \\ -0,2; & -0,27; & 2,19 \end{vmatrix}; \qquad (П2.14)$$

в) двухцепная ВЛ с вертикальным расположением проводов (см.рис.2.2)

$$\lambda = \begin{vmatrix} 1; & 1; & 1; & 1; & 1; & 1 \\ -0,54; & -1,1; & 1,25; & 0,58; & 2,72; & 1,13 \\ 0,119; & 0,24; & -1,25; & -0,79; & 3,18; & 1,32 \\ -1; & 1; & -1; & 1; & -1; & 1 \\ 0,54; & -1,1; & -1,25; & 0,58; & -2,72; & 1,13 \\ -0,119; & 0,24; & 1,25; & -0,79; & -3,18; & 1,32 \end{vmatrix};$$

$$\lambda^{-1} = \begin{vmatrix} 0,371; & -0,223; & 0,074; & -0,371; & 0,223; & -0,074 \\ 0,202; & -0,257; & 0,067; & 0,202; & -0,257; & 0,067 \\ 0,103; & 0,155; & -0,165; & -0,103; & -0,155; & 0,165 \\ 0,209; & 0,132; & -0,272; & 0,209; & 0,132; & -0,272 \\ 0,026; & 0,068; & 0,088; & -0,026; & -0,068; & -0,088 \\ 0,089; & 0,125; & 0,205; & 0,089; & 0,125; & 0,205 \end{vmatrix};$$

$$\delta = \begin{vmatrix} 1; & 1; & 1; & 1; & 1; & 1 \\ -0,6; & -1,27; & 1,5; & 0,63; & 2,6; & 1,4 \\ 0,2; & 0,33; & -1,6; & -1,6; & 3,4; & 2,3 \\ -1; & 1; & -1; & 1; & -1; & 1 \\ 0,6; & -1,27; & -1,5; & 0,63; & -2,6; & 1,4 \\ -0,2; & 0,33; & 1,6; & -1,6; & -3,4; & 2,3 \end{vmatrix}; \qquad (П2.15)$$

$$\delta^{-1} = \begin{vmatrix} 0,371; & -0,2; & 0,044; & -0,371; & 0,2; & -0,044 \\ 0,202; & -0,222; & 0,0475; & 0,202; & -0,222; & 0,0475 \\ 0,103; & 0,128; & -0,128; & -0,103; & -0,128; & 0,128 \\ 0,209; & 0,122; & -0,165; & 0,209; & 0,122; & -0,165 \\ 0,026; & 0,0721; & 0,084; & -0,026; & -0,0721; & -0,084 \\ 0,089; & 0,1; & 0,117; & 0,089; & 0,1; & 0,117 \end{vmatrix}$$

Примечание. В силу симметричности расположения проводов двухфазной линии (см.рис.2.2) в матрицах λ и δ модули элементов, относящихся к строкам 4, 5 и 6, равны

[illegible] 3 Элементы строк [illegible] имеют знаки [illegible] соответствующих [illegible] строк [illegible] для столбцов 2, 4 и [illegible] В матрицах Λ [illegible] модули элементов, относящихся к столбцам 1 [illegible] и 6 равны модулям соответствующих элементов, относящихся к столбцам I, 2 и [illegible] Элементы столбцов 4, 5 и 6 для строк I, 3 и 5 имеют знаки, противоположные знакам соответствующих элементов столбцов I, 2 и 3, а для строк 2, 4 и 6 – те же знаки

$$Z_{вм}=\frac{1}{K_4}\begin{vmatrix} [illegible] & 0 & 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 400, & 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 400 & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0 & 600, & 0, & 0 \\ 0, & 0 & 0, & 0 & 60, & 0 \\ 0, & 0 & 0 & 0, & 0, & [illegible] \end{vmatrix},$$

$$Z_{в}=\frac{1}{K}\begin{vmatrix} 20, & I[illegible]4 & 89 & I24, & 97 & [illegible] \\ 134 & [illegible] & I58, & 9[illegible], & 6[illegible], & [illegible] \\ 89, & I[illegible], & 509, & 58, & 30 & 5[illegible] \\ 124, & [illegible], & [illegible]8, & 520 & I3[illegible] & [illegible] \\ 9[illegible] & 6[illegible], & 30, & 134, & [illegible]II, & [illegible] \\ [illegible] & 30, & [illegible], & 89, & I5[illegible] & [illegible]09 \end{vmatrix} \qquad [illegible]16$$

$$Y_в=K_4\,\theta^3\begin{vmatrix} 2,2, & -0,41, & -0,2 & 0,3[illegible] & [illegible],2, & -0,06 \\ -0,4I, & 2,32, & -0,63 & -0,24 & -0,14, & -0,08 \\ -0,2, & 0,63, & 2,2, & -0,06 & -0,08, & -0,I9 \\ -0,36, & -0,24, & -0,06, & 2,2, & [illegible], & -0,2 \\ -0,24, & -0,I4, & -0,08, & -0,4I, & [illegible], & 0,63 \\ -0,06, & -0,08, & -0,I9, & 0,2, & 0,6[illegible], & 2,2 \end{vmatrix}.$$

При необходимости более точного определения модули элементов матрицы $Z_в$ с учетом удельного сопротивления земли могут быть определены с учетом приближенного равенства

$$Z_в = 60\,N, \qquad (П2.I7)$$

где N – квадратная симметрическая действительная матрица, элементы которой определяются как

$$\left.\begin{aligned} N_{кк} &= \ln\left(D'_{кк}/r_к\right) \\ N_{кi} = N_{iк} &= \ln\left(D'_{iк}/S_{iк}\right) \end{aligned}\right\}, \qquad (П2\ I8)$$

где $D'_{кк}$ – расстояние от k-го провода до его зеркального отображения, углубленного на расстояние Δh,

$D_{iк}$ – расстояние от i-го провода до зеркального отображения K-го провода, углубленного на расстояние Δh,

$S_{iк}$ – расстояние между i-м и K-м проводом

$$\Delta h = 63\sqrt{\rho_з/f} \qquad (П2\ I9)$$

Значения коэффициентов K_{1S}, K_{2S}, K_{5S} (S = I,2, , n), а также K_3 и K_4, необходимых для расчета по формулам (П2 4) и (П2 5) значений коэффициентов затухания и коэффициентов фазы различных мод, определяются следующим образом

Коэффициенты K_{1S}, K_3 и K_4 – в соответствии с табл 3 5, 3 7 и 3 4, коэффициенты K_{20} и K_{50} – по рис 3 I или по формулам п 3 I 4, коэффициенты K_{21}, K_{22} K_{51} и K_{52} для трехпроводных ВЛ – по кривым, приведенным на рис П2.4 – П2 II, коэффициенты K_{2S} и K_{5S} (S – I,2,3) для двухцепных ВЛ с вертикальным расположением проводов могут быть приняты равными нулю, коэффициенты K_{2S} и K_{5S} (S 4,5) для двухцепных ВЛ с вертикальным расположением проводов – по кривым, приведенным на рис П2 I2 и П2 I3

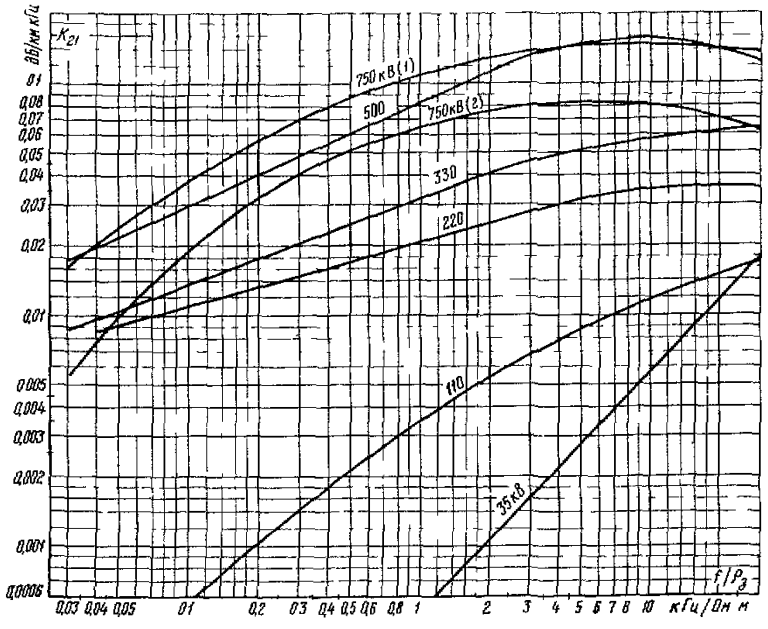


Рис.П2.4 График для определения приближенных значений коэффициента K_{21} для ВЛ 35–750 кВ с горизонтальным расположением проводов·
750 кВ (I) – для опор ПП, ПБ, 750 кВ (2) – для опор ПН

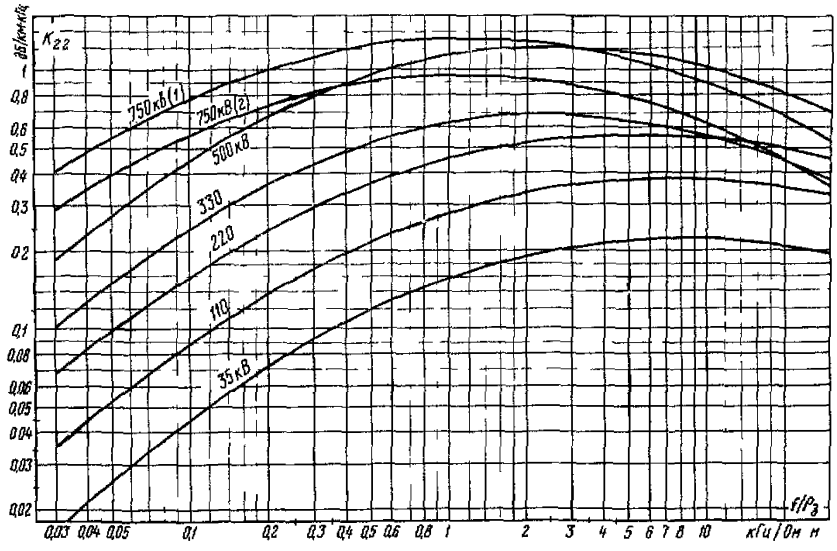


Рис.П2.5. График для определения приближенных значений коэффициента K_{22} для ВЛ 35–750 кВ с горизонтальным расположением проводов·
750 кВ (I) – для опор ПП, ПБ, 750 кВ (2) – для опор ПН

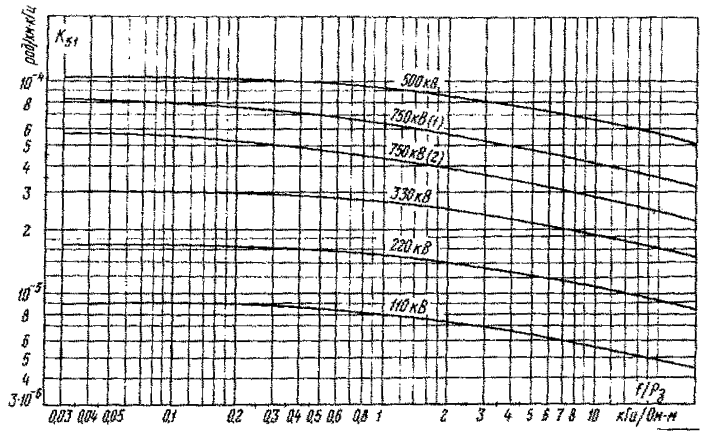


Рис.П2.6. График для определения приближенных значений коэффициента K_{51} для ВЛ с горизонтальным расположением проводов:
750 кВ (I) - для опор ПП, ПБ; 750 кВ (2) - для опор ПН

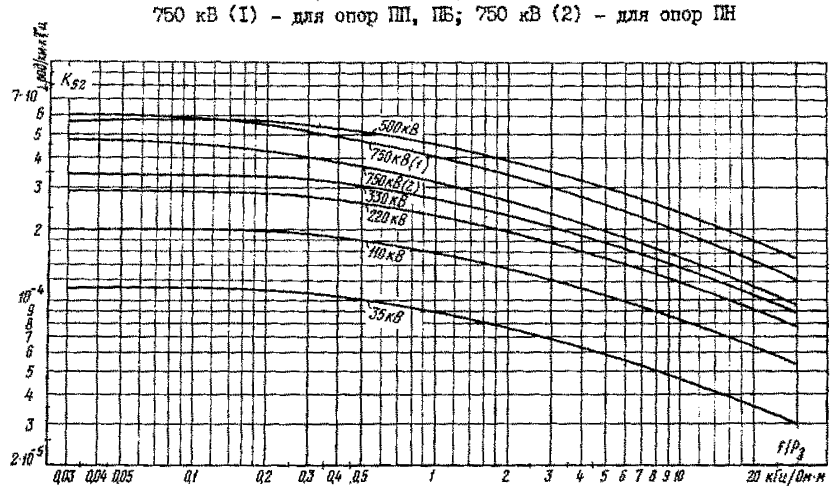


Рис.П2.7. График для определения приближенных значений коэффициента K_{52} для ВЛ с горизонтальным расположением проводов:
750 кВ (I) - для опор ПП, ПБ; 750 кВ (2) - для опор ПН

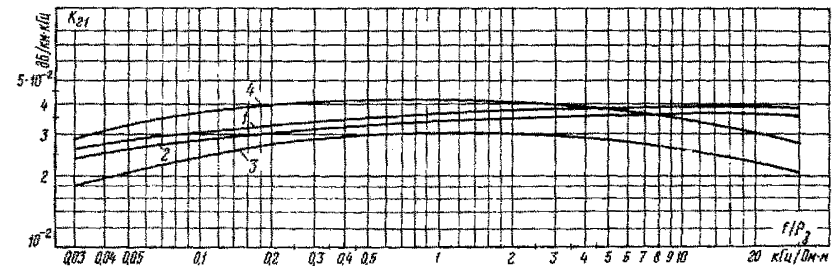


Рис.П2.8. График для определения приближенных значений коэффициента K_{21} для ВЛ с треугольным расположением проводов:

I - ВЛ 330 и 220 кВ (стальные свободностоящие и железобетонные опоры);
2 - ВЛ 220 кВ (стальные опоры на оттяжках); 3 - ВЛ 110 кВ (железобетонные опоры); 4 - ВЛ 110 кВ (стальные опоры)

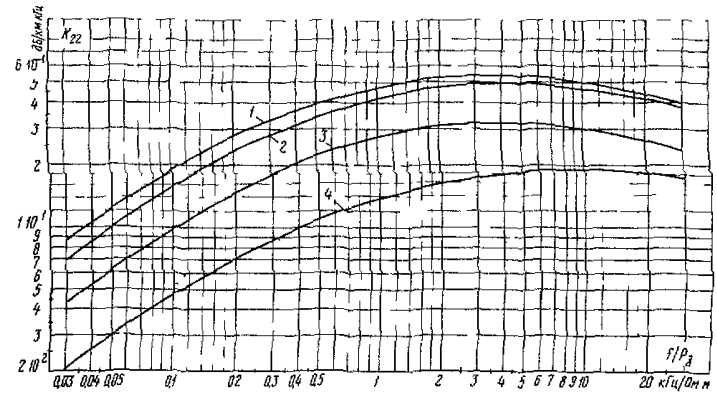


Рис.П2.9. График для определения приближенных значений коэффициента K_{22} для ВЛ с треугольным расположением проводов

I - ВЛ 330 кВ, 2 - ВЛ 220 кВ (стальные на оттяжках опоры); 3 - ВЛ 220 кВ (стальные свободностоящие и железобетонные опоры); 4 - ВЛ 110 кВ

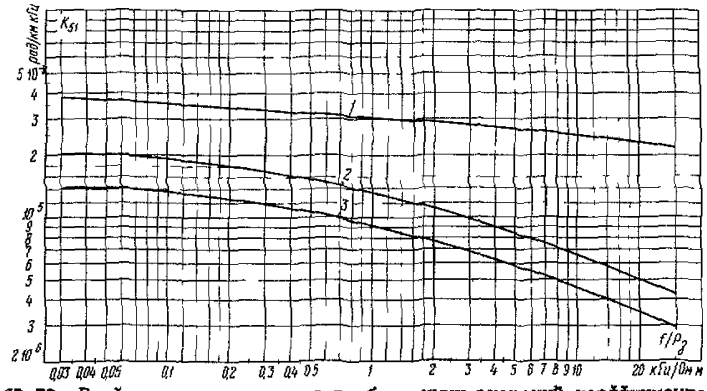


Рис.П2.10. График для определения приближенных значений коэффициента K_{51} для ВЛ с треугольным расположением проводов:

I - ВЛ 330, 220 кВ (стальные свободностоящие и железобетонные опоры), ВЛ 220 кВ (стальные на оттяжках опоры); 2 - ВЛ 110 кВ (стальные опоры); 3 - ВЛ 110 кВ (железобетонные опоры)

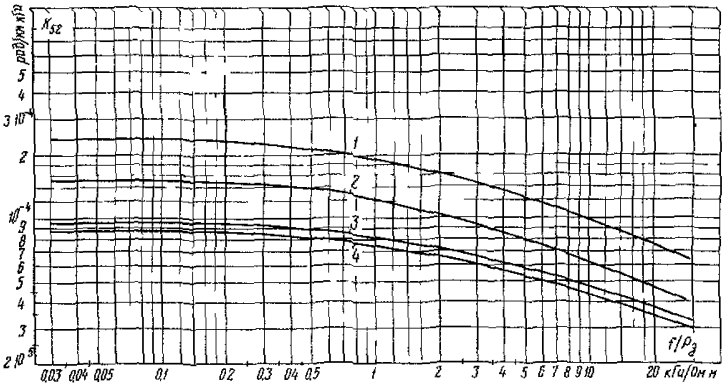
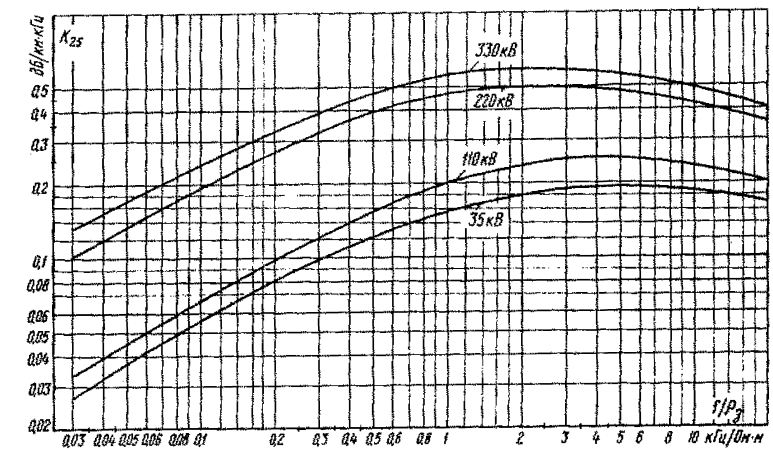
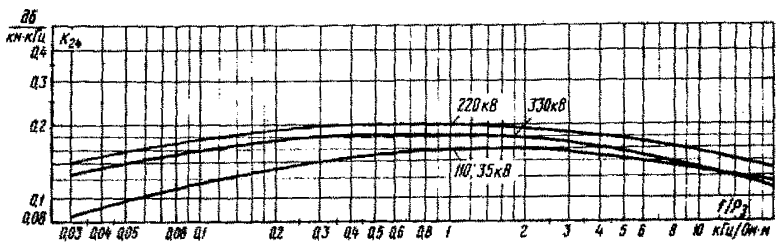


Рис.П2.11. График для определения приближенных значений коэффициента K_{52} для ВЛ с треугольным расположением проводов:

I - ВЛ 330, 220 кВ (стальные свободностоящие и железобетонные опоры); 2 - ВЛ 220 кВ (стальные опоры на оттяжках), 3 - ВЛ 110 кВ (железобетонные опоры); 4 - ВЛ 110 кВ (стальные опоры)



а)



б)

Рис.П2.12. График для определения приближенных значений коэффициентов для двухцепных ВЛ 35-330 кВ с вертикальным расположением проводов:
а - K_{25}; б - K_{24}

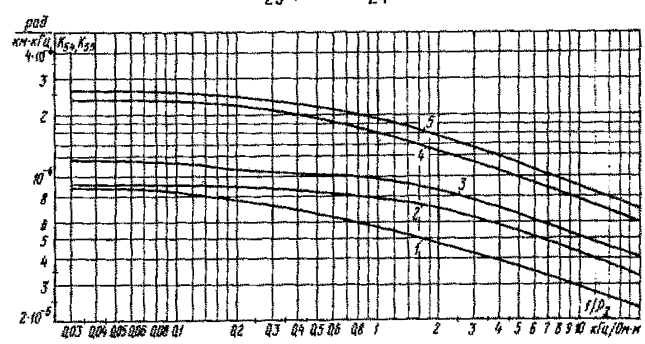


Рис.П2.13. График для определения приближенных значений коэффициентов для двухцепных ВЛ с вертикальным расположением проводов:
1 - K_{54} для ВЛ 35-330 кВ; 2, 3, 4 и 5 - K_{55} для ВЛ 35, 110, 220 и 330 кВ соответственно

Кривые на рис.П2.4 ÷ П2.I3 для ВЛ разных классов напряжения и разных типов расположения проводов получены на основании обобщения результатов расчетов модальных параметров ВЛ на ЭВМ по программе "Тракт", проведенных для существующих в настоящее время унифицированных типов промежуточных опор.

Зависимости коэффициентов K_{2S} и K_{5S} от отношения $f/\rho_з$, представленные на рис.П2.4 ÷ П2.I3, могут быть аппроксимированы выражениями:

$$\lg K_{2S} = A_{1S} + A_{2S}\lg(f/\rho_з) + A_{3S}\left[\lg(f/\rho_з)\right]^2, \quad (П2.20)$$

$$\lg K_{5S} = B_{1S} + B_{2S}\lg(f/\rho_з) + B_{3S}\left[\lg(f/\rho_з)\right]^2 \quad (П2.21)$$

Значения коэффициентов A и B в (П2.20) и (П2.21) приведены в табл.П2.I ÷ П2.4.

Таблица П2.I

Значения коэффициентов A в формуле (П2.20) для мод I и 2 ВЛ с горизонтальным и треугольным расположением проводов

Расположение проводов ВЛ	U кВ	Коэффициенты A_{11}	A_{21}	A_{31}	A_{12}	A_{22}	A_{32}	Тип опоры
Горизонтальное	750	-0,963	0,3	-0,I6 1*	0,II7	0,03	-0,20	ПП-750, ПБ-750
		-0,963	0,264	-0,I34				
		-I,22	0,I5	-0,35 1*	-0,02I	0,022	-0,2I	ПН-750
		-I,22	0,37	-0,24				
	500	-I,09	0,44	0 2*	0,05	0,I8	-0,22	Любая
		-I,09	0,6	-0,32				
	330	-I,5	0,37	0 3*	-0,2I	0,I8	-0,22	-"-
		-I,5	0,37	-0,II				
	220	-I,69	0,27	0 4*	-0,35	0,27	-0,I8	-"-
		-I,69	0,36	-0,I3				
	II0	-2,46	0,66	-0,I3	-0,56	0,32	-0,I8	-"-
	35	-3,29	I,04	0	-0,8I	0,35	-0,I9	-"-
Треугольное	330	-I,44	0,055	-0,025	-0,33	0,2I	-0,I8	Любая
	220	-I,44	0,055	-0,025	-0,57	0,24	-0,I9	Стальные свободностоящие и железобетонные
	II0	-I,37	-0,0I	-0,08	-0,86	0,3	-0,I6	Стальные
		-I,52	0,0I5	-0,085	-0,86	0,3	-0,I6	Железобетонные

1ж Числитель для $f/\rho_з \leq I$, знаменатель $f/\rho_з \geq 0,4$.

2ж Числитель для $f/\rho_з \leq 2$, знаменатель - $f/\rho_з \geq 2$.

3ж Числитель для $f/\rho_з \leq 2$, знаменатель - $f/\rho_з \geq I$.

4ж Числитель для $f/\rho_з \leq 4$, знаменатель - $f/\rho_з \geq 2$.

Таблица П2 2

Значения коэффициентов A в формуле (П2.20) для мод 4 и 5 ВЛ с вертикальным двухцепным расположением проводов

U кВ	Коэффициенты					
	A_{14}	A_{24}	A_{34}	A_{15}	A_{25}	A_{35}
330	-0,76	-0,03	-0,07	-0,26	0,14	-0,19
220	-0,68	-0,03	-0,07	-0,33	0,16	-0,19
110	-0,81	0,025	-0,115	-0,72	0,26	-0,16
35	-0,81	0,025	-0,115	-0,84	0,26	-0,16

Таблица П2 3

Значения коэффициентов B в формуле (П2.21) для мод 1 и 2 ВЛ с горизонтальным и треугольным расположением проводов

Расположение проводов	U кВ	Коэффициенты						Тип опоры
		B_{11}	B_{21}	B_{31}	B_{12}	B_{22}	B_{32}	
Горизонтальное	750	-4,2	-0,14	-0,04	-3,39	-0,235	-0,08	ПП-750 и ПБ-750
		-4,36	-0,14	-0,04	-3,5	-0,235	-0,08	ПН-750
	500	-4,03	-0,1	-0,05	-3,34	-0,19	-0,09	Любая
	330	-4,57	-0,1	-0,05	-3,57	-0,19	-0,09	-"-
	220	-4,82	-0,1	-0,05	-3,64	-0,19	-0,09	-"-
	110	-5,1	-0,1	-0,05	-3,8	-0,19	-0,09	-"-
	35	∞	∞	∞	-4,05	-0,19	-0,09	-"-
Треугольное	330	-4,52	-0,08	-0,01	-3,72	-0,19	-0,09	-"-
		-4,52	-0,08	-0,01	-3,72	-0,19	-0,09	Стальные свободностоящие и железобетонные
	220	-4,52	-0,08	-0,01	-3,92	-0,19	-0,09	Стальные на оттяжках
	110	-5,04	-0,23	-0,07	-4,09	-0,15	-0,08	Железобетонные
		-4,88	-0,23	-0,07	-4,13	-0,15	-0,08	Стальные

Таблица П2.4

Значения коэффициентов B в формуле (П2.21) для мод 4 и 5 ВЛ с вертикальным двухцепным расположением проводов

U кВ	Коэффициенты					
	B_{14}	B_{24}	B_{34}	B_{15}	B_{25}	B_{35}
330	-4,24	-0,22	-0,07	-3,73	-0,22	-0,071
220	-4,24	-0,22	-0,07	-3,8	-0,22	-0,071
110	-4,24	-0,22	-0,07	-4,02	-0,17	-0,066
35	-4,24	-0,22	-0,07	-4,13	-0,15	-0,066

Приложение 3

ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА ПО ТРЕХПРОВОДНОЙ ТРАНСПОНИРОВАННОЙ ВЛ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ПРОВОДОВ И С ОДНОЙ ТРАНСПОЗИЦИЕЙ

Затухание линейного тракта по трехпроводной транспонированной ВЛ с горизонтальным расположением проводов и с одной транспозиционной опорой для общего случая, когда длины шагов транспозиции не одинаковы (рис.П3.I), определяется по формуле (3.9), в которой

$$\alpha_S = \alpha_1 , \qquad (П3.1)$$

$$a_{доп} = 20\lg\left|1/[C_1 + C_2\exp(-\Delta g_1) + C_3\exp(-\Delta g_2) + C_4\exp(-\Delta g_1 - \Delta g_2)]\right| , \qquad (П3.2)$$

$$\left.\begin{aligned}\Delta g_1 &= 0{,}115(\alpha_2-\alpha_1)\ell_1 + j(\beta_2-\beta_1)\ell_1\\ \Delta g_2 &= 0{,}115(\alpha_2-\alpha_1)\ell_2 + j(\beta_2-\beta_1)\ell_2\end{aligned}\right\} \qquad (П3.3)$$

Значения коэффициентов $C_1 - C_4$ в (П3.2) для разных схем присоединения к ВЛ приведены в табл.П3.I. В этой же таблице по аналогии с табл.3.I2 дано значение $a_к$ для рассматриваемых схем присоединения. Обозначения рабочих проводов в табл.П3.I приведены в соответствии с рис.П3.I.

Применение формулы (П3.2) возможно лишь при условии, что меньшая из длин (ℓ_1 или ℓ_2) больше I0 км. Если эта длина меньше I0 км, то погрешность расчета по (П3.2) может оказаться значительной. В этом случае расчет следует вести на ЭВМ по программе "Тракт" (см. приложение 4).

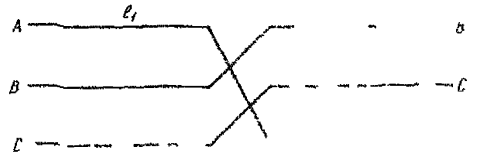


Рис П3.I. Схема ВЛ с одной транспозиционной опорой

Предпочтительными схемами присоединения являются схемы № I-7. Частотные зависимости затухания линейных трактов с любой из схем присоединения табл П3.1 могут иметь области

Таблица П3

Значения коэффициентов C_1, C_2, C_3 и C_4 в (П3.2) и $a_к$ по (3.2I)

Номер схемы	Присоединение к ВЛ (рис.П3.I) на		Коэффициент				$a_к$
	передающем конце (слева)	приемном конце (справа)	C_1	C_2	C_3	C_4	дБ
I	A-земля	A-земля	-0,III	0,302	0,302	0,275	I9
2	B-земля	C-земля	0,4	0	0	0	8
3	A-B	A-C	0,38	-0,363	-0,363	-0,II5	8,4
4	B-C	A-C	-0,38	-0,363	0,363	-0,II5	8,4
5	B-C	B-C	0,38	0,363	0,363	0,II5	8,4
6	A-земля	C-земля	0,2I4	-0,584	0	0	I3,4
7	B-земля	A-земля	0,2I4	0	-0,584	0	I3,4
8	C-земля	C-земля	0,2I4	0,584	0	0	I3,4
9	B-земля	B-земля	0,2I4	0	0,584	0	I3,4
I0	A-земля	B-земля	-0,III	0,302	-0,302	-0,275	I9
II	C-земля	A-земля	-0,III	-0,302	0,302	-0,275	I9
I2	A-B	A-B	0	0	-0,79	-0,2I	∞
I3	A-C	B-C	0	+0,79	0	-0,2I	∞
I4	B-C	A-B	0	0	0,79	-0,2I	∞
I5	A-C	A-C	0	-0,79	0	-0,2I	∞

повышенного затухания. Погрешность расчета по (П3.2) вблизи этих областей может значительно увеличиваться.

Использование присоединения по схемам фаза-земля к разноименным фазам ВЛ на передающем и приемном концах (схемы № 2, 6, 7, 11 табл.П3.1) допускается только при соблюдении ограничений, сформулированных в п.3.2.1.9. При этом в формулах (3.16) и (3.17) под ℓ следует понимать полную длину линии.

Приложение 4

АЛГОРИТМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ $\alpha_{доп\ макс}$ ПРИ КЗ НА ТРЕХПРОВОДНОЙ ВЛ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ПРОВОДОВ

Как показано в [13], затухание линейного тракта по транспонированной ВЛ с горизонтальным расположением фаз с двумя транспозициями и с равными шагами транспозиции с учетом повреждения в произвольной части линии (расчетная схема показана на рис.П4.1) может быть определено по (3.9), в которой $\alpha_S = \alpha_1$, а $\alpha_{доп}$ определяется как

$$\alpha_{доп} = 20\lg\left|1/\left\{\sum_{\iota=1}^{3} C_{1\iota}\exp(-\Delta g\iota) + \sum_{\iota=0}^{2} C_{2\iota}\times\right.\right.$$
$$\times\exp\left[-\Delta g(\iota+x)\right] + \sum_{\iota=1}^{3} C_{3\iota}\exp\times$$
$$\left.\left.\times\left[-\Delta g(\iota-x)\right]\right\}\right| , \qquad (П4.1)$$

где Δg определяется по (3.24);

x – относительное расстояние от начала ι-го однородного участка ВЛ (ι-й секции) (ι = 1,2,3).

При получении формулы (П4.1) делается допущение, что напряжение падающей волны "все провода земля" в месте повреждения равно нулю.

Коэффициенты $C_{1\iota}$ (ι = 0,1,2,3), $C_{2\iota}$ (ι = 0,1,2) и $C_{3\iota}$ (ι = 1,2,3) зависят от рассматриваемой схемы присоединения, вида короткого замыкания, того, на каких фазах и на какой секции линии произошло короткое замыкание, и от переходного сопротивления в месте замыкания. Таким образом, для одного из видов КЗ, одной выбранной схемы присоединения к ВЛ и при замыкании на одной из секций число коэффициентов C получается равным 30 (3 комплекта, соответствующих повреждению на каждой из фаз или каждой из пар фаз, по 10 коэффициентов).

Формулы для расчета коэффициентов C в (П4.1) записываются в виде.

а) КЗ на первой секции

$$\left.\begin{aligned}
C_{10} &= L_{r1}T_{11}^2F_{11}M_{1t},\\
C_{11} &= L_{r1}(T_{12}T_{21}F_{11}M_{1t} + T_{11}T_{12}F_{22}M_{2t}) + \\
&\quad + L_{r2}T_{21}T_{11}F_{11}M_{1t},\\
C_{12} &= L_{r1}T_{12}T_{22}F_{22}M_{2t} + L_{r2}(T_{22}T_{21}F_{11}M_{1t} + \\
&\quad + T_{21}T_{12}F_{22}M_{2t}),\\
C_{13} &= L_{r2}T_{22}^2F_{22}M_{2t},\\
C_{20} &= L_{r1}T_{11}^2F_{12}M_{2t},\\
C_{21} &= L_{r1}T_{12}T_{21}F_{12}M_{2t} + L_{r2}T_{21}T_{11}F_{12}M_{2t},\\
C_{22} &= L_{r2}T_{22}T_{21}F_{12}M_{2t},\\
C_{31} &= L_{r1}T_{11}T_{12}F_{21}M_{1t},\\
C_{32} &= L_{r1}T_{12}T_{22}F_{21}M_{1t} + L_{r2}T_{21}T_{12}F_{21}M_{1t},\\
C_{33} &= L_{r2}T_{22}^2F_{21}M_{1t},
\end{aligned}\right\} \qquad (П4.2)$$

б) КЗ на второй секции

$$
\begin{aligned}
C_{10} &= L_{r1} T_{11} F_{11} T_{11} M_{1t}\,,\\
C_{11} &= L_{r1}(T_{11} F_{11} T_{12} M_{2t} + T_{12} F_{22} T_{21} M_{1t}) + \\
&\quad + L_{r2} T_{21} F_{11} T_{11} M_{1t}\,;\\
C_{12} &= L_{r1} T_{12} F_{22} T_{22} M_{2t} + L_{r2}(T_{22} F_{22} T_{21} M_{1t} + \\
&\quad + T_{21} F_{11} T_{12} M_{2t})\,,\\
C_{13} &= L_{r2} T_{22} F_{22} T_{22} M_{2t}\,,\\
C_{20} &= L_{r1} T_{11} F_{12} T_{21} M_{1t}\,,\\
C_{21} &= L_{r1} T_{11} F_{12} T_{22} M_{2t} + L_{r2} T_{21} F_{12} T_{21} M_{1t}\,,\\
C_{22} &= L_{r2} T_{21} F_{12} T_{22} M_{2t}\,,\\
C_{31} &= L_{r1} T_{12} F_{21} T_{11} M_{1t}\,,\\
C_{32} &= L_{r1} T_{12} F_{21} T_{12} M_{2t} + L_{r2} T_{22} F_{21} T_{11} M_{1t}\,,\\
C_{33} &= L_{r2} T_{22} F_{21} T_{12} M_{2t}\,;
\end{aligned}
\qquad (П4.3)
$$

в) КЗ на третьей секции

$$
\begin{aligned}
C_{10} &= L_{r1} F_{11} T_{11}^2 M_{1t}\,,\\
C_{11} &= L_{r1}(F_{11} T_{12} T_{21} M_{1t} + F_{11} T_{11} T_{12} M_{2t}) + \\
&\quad + L_{r2} F_{22} T_{21} T_{11} M_{1t}\,,\\
C_{12} &= L_{r1} F_{11} T_{12} T_{22} M_{2t} + L_{r2}(F_{22} T_{22} T_{21} M_{1t} + \\
&\quad + F_{22} T_{21} T_{12} M_{2t})\,;\\
C_{13} &= L_{r2} F_{22} T_{22}^2 M_{2t}\,,\\
C_{20} &= L_{r1} F_{12} T_{21} T_{11} M_{1t}\,,\\
C_{21} &= L_{r1}(F_{12} T_{22} T_{21} M_{1t} + F_{12} T_{21} T_{12} M_{2t})\,,\\
C_{22} &= L_{r2} F_{12} T_{22}^2 M_{2t}\,;\\
C_{31} &= L_{r2} F_{21} T_{11}^2 M_{1t}\,;\\
C_{32} &= L_{r2}(F_{21} T_{12} T_{21} M_{1t} + F_{21} T_{11} T_{12} M_{2t})\,,\\
C_{33} &= L_{r2} F_{21} T_{12} T_{22} M_{2t}\,.
\end{aligned}
\qquad (П4.4)
$$

В (П4.2) ÷ (П4.4) L_{r1} , L_{r2} – коэффициенты преломления падающей волны напряжения соответственно первой и второй моды в сопротивление нагрузки рабочего провода (r -й провод);

M_{1t} , M_{2t} – коэффициенты преломления напряжения генератора, подключенного к рабочему (t -му) проводу, в напряжение падающей волны соответственно первой и второй моды;

$T_{St}(s=1,2, t=1,2)$ – коэффициенты передачи падающей волны напряжения s -й моды в t -ю моду через транспозицию;

$F_{St}(s=1,2, t=1,2)$ – коэффициенты передачи падающей волны напряжения s -й моды в t -ю моду через место повреждения.

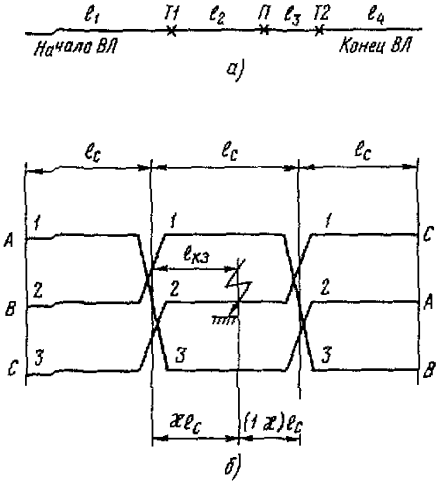


Рис.П4.1. Расчетная схема транспонированной ВЛ с учетом повреждения:
а – однолинейная схема; *б* – схема транспонированной ВЛ с местом КЗ

Для построения номограммы $a_{доп\ макс} = \varphi(\Delta a, \Delta b)$ типа показанного на рис.3.8 делается допущение, что переходное сопротивление в месте КЗ не зависит от частоты. Обычно его принимают равным нулю, хотя для замыканий на землю его можно принять чисто активным и равным сопротивлению заземления (например, 10 Ом).

В настоящей работе принято $Z_{КЗ} = 0$.

Наиболее просто определяется влияние однофазных КЗ на затухание со схемой присоединения фаза-фаза. При этом для заданной пары значений Δa и Δb [формула (3.24)] определяют зависимость $a_{доп}$ от места КЗ (значение x в (П4.1) изменяется от 0 до 1 с заданным шагом, например, 0,1) и запоминают значение $a_{доп\ макс}$. Пример результата расчета этого этапа для схемы фаза А - земля ВЛ 330 кВ длиной 100 км показан на рис.П4.2. При построении кривых принято $\Delta a = 5$ дБ и $\Delta b = 90^0$, что соответствует частоте 50 кГц и $\rho_з = 50$ Ом·м. Затем такие же расчеты делают для другой пары значений Δa и Δb и т.д. По результатам расчетов строится номограмма $a_{доп.макс} = \varphi(\Delta g)$

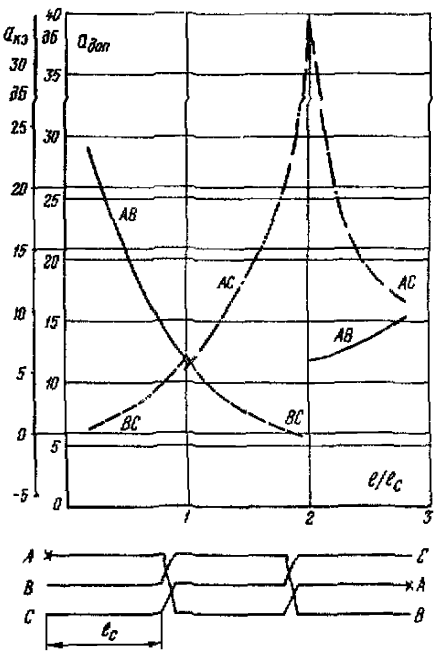


Рис.П4.2. Зависимость дополнительного затухания при двухфазных КЗ ($a_{доп}$) и затухания, вносимого этим КЗ ($a_{КЗ}$), от места КЗ.
(КЗ между крайними фазами не рассматривается)

Для схемы присоединения фаза-земля расчеты при однофазном и двухфазных КЗ, подобные описанным выше, справедливы только для удаленных от концов линии повреждений [формула (3.49)]

Для схемы присоединения фаза-фаза короткое замыкание рабочих фаз вблизи концов линии при $Z_{КЗ} = 0$ будет $a_{доп\ макс} = \infty$. Чтобы избежать этого, расчет номограмм необходимо для первой и последней секций производить только для удаленных от концов ВЛ мест повреждений, начиная его с такого значения x, при котором справедливы неравенства

$$\left.\begin{aligned} \Delta a\, x &\geq 3\ , \\ \Delta b\, x &\geq \pi/6\ . \end{aligned}\right\} \qquad (П4.5)$$

Значения L_{r1}, L_{r2}, M_{1t}, M_{2t}, T_{St}, F_{St} ($S = 1,2$; $t = 1,2$), которые следует принимать в расчетах, приведены в табл.П4.1-П4.3 [8].

Таблица П4.1

Значения коэффициентов M_{St} и L_{tS} ($S = 1,2$; $t = 1,2,3$) в формулах (П4.2) - (П4.4)

Присоединение по схеме	M_{1t}	M_{2t}	L_{t1}	L_{t2}
1-0 ($t = 1$)	0,17	0,5	1,3	1,1
3-0 ($t = 3$)	0,17	-0,5	1,3	-1,1
2-0 ($t = 2$)	-0,33	0	-2,42	0
1-2 ($t = 1, p = 2$)	0,49	0,5	1,56	0,46
2-3 ($t = 2; p = 3$)	-0,49	0,5	-1,56	0,46
1-3 ($t = 1, p = 3$)	0	1	0	1

Примечание. 1-0 - означает присоединения по схеме фаза 1 - земля; 1-2 - фаза 1 - фаза 2.

Таблица П4.2

Значения коэффициентов T_{11}, T_{12}, T_{21} и T_{22} в формулах (П4.2) - (П4.4) для схемы, приведенной на рис.П4.1

T_{11}	T_{12}	T_{21}	T_{22}
-0,5	0,465	-1,61	-0,5

Таблица П4.3

Значения коэффициентов F_{11}, F_{12}, F_{21} и F_{22} в формулах (П4.2)-(П4.4)

Вид короткого замыкания	Значения коэффициентов			
	F_{11}	F_{12}	F_{21}	F_{22}
Фаза I на землю	0,875	-0,I25	-0,446	0,553
Фаза 2 на землю	0,466	0	0	I
Фаза 3 на землю	0,875	0,I25	0,466	0,553
Фаза I - фаза 2	0,275	-0,238	-0,837	0,726

Окончание таблицы П4.3

Вид короткого замыкания	Значения коэффициентов			
	F_{11}	F_{12}	F_{21}	F_{22}
Фаза 2 - фаза 3	0,275	0,238	0,837	0,726
Фаза I и фаза 2 на землю	0,2I6	-0,I8I	-0,687	0,538
Фаза 2 и фаза 3 на землю	0,2I6	0,I8I	0,687	0,538

Приложение 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОДСТАНЦИИ

Входное сопротивление подстанции с длиной соединительных проводов между наиболее удаленными одна от другой ячеек ОРУ $\ell_ш$ не более 50 м в диапазоне частот до I000 кГц приближенно можно определять по формуле

$$Z_{ПС} \approx -j \frac{1}{2\pi f C_{ПС} 10^{-9}}, \quad (П5.I)$$

где $C_{ПС} = \Sigma C_{обор}$ – сумма эквивалентных емкостей оборудования и ошиновки, определенных по данным табл.П5.I [9] - [I2], пФ.

Входное сопротивление подстанции с длиной $\ell_ш$ более 50 м приближенно можно определить по методике [II].

Таблица П5.I

Данные по эквивалентным емкостям оборудования

Тип	Схема соединения обмоток трансформатора	Номинальное напряжение обмотки, кВ	Эквивалентная емкость, пФ
ТМ I800/35	λ / λ_0	37	280
ТМ 5600/35	λ / Δ	35	640
ОДГ-I0500/II0	$\lambda_0/\lambda_0/\Delta$	II0	I350
ТМГ-5600/II0	$\lambda_0/\lambda_0/\Delta$	II0	790
ТДТГ-I0000/II0	$\lambda_0/\lambda_0/\Delta$	II0	760
ТДТГ-20000/II0	$\lambda_0/\lambda_0/\Delta$	II0	630

Продолжение таблицы П5.I

Тип	Схема соединения обмоток трансформатора	Номинальное напряжение обмотки, кВ	Эквивалентная емкость, пФ
ТДТГ-60000/II0	$\lambda_0/\lambda_0/\Delta$	II2	970
ТДНГ-20000/II0	$\lambda_0/\lambda_0/\Delta$	II2	I040
ТДТНГ-20000/II0	$\lambda_0/\lambda_0/\Delta$	II2	I200
ОДТГ-30000/220	$\lambda_0/\lambda_0/\Delta$	242	2500*
		I2I	I500
ОДТГ-40000/220	$\lambda_0/\lambda_0/\Delta$	242	2680*
		I2I	2I70
ОДТГА-I38000/220	λ	242	3I00
		I2I	8700
АТДЦТН-250000/500	λ	500	2000
НОМ-35	-	37	I60
НКФ-II0	-	I2I	II0
НКФ-220	-	220	50
НКФ-500	-	500	I00
ТФН-35	-	35	90
ТФНД-II0	-	II0	280
ТФНД-220	-	220	I50
ТФНКД-500	-	500	I20
ВМД-35	-	35	350/I90**
МКП-II0М	-	II0	I220/350**
ВВН-II0/800	-	II0	75/-**
ВВН-220	-	220	500/-**
ВВН-500/2000	-	500	470/300**
РДНЗ-35/600	-	35	I40/45**
РДНЗ-II0М	-	II0	I30/25**
РДНЗ-II0/М	-	II0	II0
РДНЗ-220	-	220	240/200**
РОНЗ-500/2000	-	500	200/50**

Продолжение таблицы П5.I

Тип	Схема соединения обмоток трансформатора	Номинальное напряжение обмотки, кВ	Эквивалентная емкость, пФ
НОЖ РОНЗ-500/2000	-	500	I40
РВС-35	-	35	50
РВС-II0	-	II0	85
РВС-220	-	220	85
РВМК-500	-	500	200

Окончание таблицы П5.I

Тип	Схема соединения обмоток трансформатора	Номинальное напряжение обмотки, кВ	Эквивалентная емкость, пФ
Сборные шины (на I м длины)	-	35-750	7,5

* В диапазоне частот 40-250 кГц.

** Числитель соответствует включенному состоянию, знаменатель - отключенному.

Приложение 6

ПРИБЛИЖЕННЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО ЗАТУХАНИЯ НА БЛИЖНЕМ И ДАЛЬНЕМ КОНЦАХ ДЛЯ ДВУХ ВЛ, ЗАХОДЯЩИХ НА РАЗНЫЕ ПОДСТАНЦИИ И ИМЕЮЩИХ ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СБЛИЖЕНИЕ НА ТРАССЕ ИХ ПРОХОЖДЕНИЯ

Рассмотрим общий случай параллельного сближения двух ВЛ на трассе их прохождения, показанного на рис.П6.I, с введением допущения: на участке параллельного сближения модальные параметры каждой из ВЛ (ВЛI и ВЛ2) можно считать такими же, как и вне участка параллельного сближения. Это допущение вносит тем меньшую погрешность, чем больше расстояние между осями ВЛI и ВЛ2 на участке сближения по сравнению с расстоянием между фазами каждой из ВЛ.

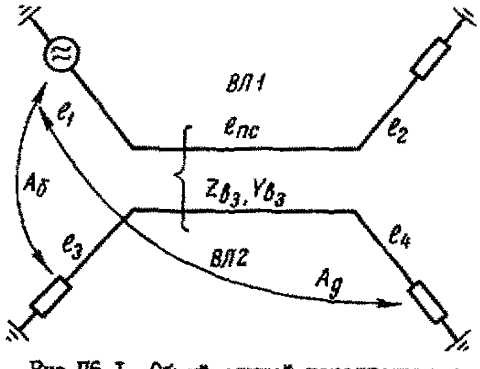


Рис.П6.I. Общий случай параллельного сближения двух ВЛ на трассе их прохождения

В этом случае напряжение и токи в проводах ВЛ, подверженной влиянию (например, ВЛ2 - рис.П6.I), можно определить, используя полученные в [8] выражения для определения токов и напряжений в произвольной точке линии при наличии распределенных источников помех, представляемых источниками продольных ЭДС (матрица $E_2(x)$), включенных в провода ВЛ2, и поперечных токов (матрица $J_2(x)$), подключенных между каждым из проводов и землей. В рассматриваемом случае столбцевые комплексные матрицы n-го порядка (n - число проводов ВЛ2) $E_2(x)$ и $J_2(x)$ могут быть определены как

$$\left.\begin{aligned} E_2(x) &= Z_{в3}(x)\, I_1(x), \\ J_2(x) &= Y_{в3}(x)\, U_1(x), \end{aligned}\right\} \qquad (П6.I)$$

где $Z_{в3}(x)$ - комплексная квадратная матрица n-го порядка взаимных сопротивлений между линиями в точке X;

$Y_{в3}(x)$ - мнимая квадратная матрица n-го порядка взаимных проводимостей между линиями в точке X;

$U_1(x), I_1(x)$ - столбцевые комплексные матрицы n-го порядка напряжений и токов фаз влияющей линии (ВЛI) в точке x (n - число проводов каждой из ВЛ).

Упрощая поставленную задачу еще одним допущением - обе ВЛ (ВЛI и ВЛ2) нагружены на волновые сопротивления и полностью согласованы, можно получить следующие достаточно простые выражения для определения переходных затуханий на ближнем ($A_б$) и дальнем

($A_д$) концах при различных схемах присоединения к ВЛ1 и ВЛ2.

Для присоединения к ВЛ1 по схеме провод r -земля и к ВЛ2 по схеме провод t - земля с учетом допущений, оговоренных выше, из выражений [8] с учетом (П6.1) можно записать:

$$A_{дr/t} = 20\lg \left| \frac{\sqrt{Z_{ct}}/\sqrt{Z_{cr}}}{\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{n} \frac{M_{ir} L_{ts}\left(1-e^{-(\gamma_i+\gamma_s)\ell_{пс}}\right)}{\gamma_i+\gamma_s}} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{1}{e^{-(\gamma_i \ell_1 + \gamma_s \ell_3)} \sum_{m=1}^{n}\sum_{p=1}^{n} K_{1pm}} \right| ; \qquad (П6.2)$$

$$K_{1pm} = \frac{\beta_{sp}\delta_{mi} Z_{pm}}{Z_{вмi}} - a_{sp}\lambda_{mi} Y_{pm} Z_{вмi} ; \qquad (П6.3)$$

$$A_{д\,r/t} = 20\lg \left| \frac{\sqrt{Z_{ct}}/\sqrt{Z_{cr}}}{\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{n} M_{ir} L_{ts} e^{-(\gamma_i \ell_1 + \gamma_s \ell_4)}} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{1}{K_{2si}\sum_{m=1}^{n}\sum_{p=1}^{n} K_{3pm}} \right| ; \qquad (П6.4)$$

$$K_{2si} = \begin{cases} s=i : -\ell_{пс}\, e^{-\gamma_i \ell_{пс}} \\ s\neq i : \dfrac{e^{-\gamma_s \ell_{пс}} - e^{-\gamma_i \ell_{пс}}}{\gamma_s - \gamma_i} \end{cases} ; \qquad (П6.5)$$

$$K_{3pm} = \frac{\beta_{sp}\delta_{mi} Z_{pm}}{Z_{вмi}} + a_{sp}\lambda_{mi} Y_{pm} Z_{вмi} . \qquad (П6.6)$$

В формулах (П6.2) - (П6.6):

Z_{ct} , Z_{cr} - характеристические сопротивления для присоединения по схеме провод t - земля на ВЛ2 (подверженной влиянию) и провод r -земля на ВЛ1 (влияющей);

M_{ir} - коэффициент преломления напряжения генератора, подключенного по схеме r -земля к ВЛ1, в напряжение i -й моды;

L_{ts} - коэффициент преломления напряжения падающей волны s -й моды в сопротивление нагрузки, подключенной по схеме провод t -земля к ВЛ2;

γ_i - коэффициент распространения i -й моды ($i = 1,2,\ldots,n$) для ВЛ1;

γ_s - коэффициент распространения s -й моды ($s = 1,2,\ldots,n$) для ВЛ2;

β_{sp} - sp -й элемент матрицы λ^{-1} ВЛ1;

a_{sp} - sp -й коэффициент матрицы δ^{-1} ВЛ1;

δ_{mi} , λ_{mi} - mi -е элементы матриц δ и λ соответственно для ВЛ2;

Z_{pm} - pm-й элемент матрицы $Z_{вз}$;

Y_{pm} - pm-й элемент матрицы $Y_{вз}$.

Элементы матрицы $Z_{вз}$ определяются по формулам [1] :

$$Z_{pm} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi}\left(\ell n \left[\frac{\sqrt{(h_m+h_p)^2+(в_m-в_p)^2}}{\sqrt{(h_m-h_p)^2+(в_m-в_p)^2}}\right] + F_{pm}\right), \qquad (П6.7)$$

где h_m и h_p - высоты подвесы m -го провода ВЛ1 и p -го провода ВЛ2;

$в_m$ и $в_p$ - горизонтальные координаты этих проводов;

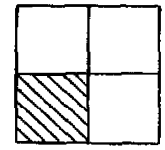
F_{pm} - интеграл Карсона, определяемый обычным образом для проводов p и m , при заданных частоте и удельном сопротивлении земли.

Элементы матрицы $Y_{вз}$ определяются по формуле

$$Y_{pm} = j\omega 2\pi\varepsilon_0 K_{pm} , \qquad (П6.8)$$

в которой значения коэффициента K_{pm} принимаются равными элементам квадратной матрицы n -го порядка, являющейся заштрихованным блоком матрицы $2n$ -го порядка N^{-1}

$$N^{-1} = \qquad (П6.9)$$



Элементы матрицы N определяются для шестипроводной ВЛ, отображающей взаимное расположение проводов ВЛ1 и ВЛ2 на участке параллельного сближения обычным образом

$$\left.\begin{aligned} N_{KK} &= \ell n \frac{2h_K}{r_{эк}}; \\ N_{Ki} &= \ell n \left(\frac{\sqrt{(h_K+h_i)^2+(\beta_K-\beta_i)^2}}{\sqrt{(h_K-h_i)^2+(\beta_K-\beta_i)^2}} \right). \end{aligned}\right\} \quad (П6.10)$$

$K = 1,2,\dots 2n$

$i = K+1, K+2, \dots 2n$

Приложение 7

ПОЯСНЕНИЯ К ПУНКТАМ РАЗДЕЛОВ 2-5, ОТМЕЧЕННЫХ ЗВЕЗДОЧКОЙ

К пп. 2.3-2.6. Более подробно модальная теория распространения волн напряжений и токов по многопроводным линиям описывается в [1], [8].

К пп.2.7, 2.8. Возможность такого подхода к упрощенному расчету затухания линейного тракта показана в [1], [8].

К пп.2.10, 2.11. В принципе собственное затухание и характеристическое сопротивление линейного тракта должны определяться с учетом волн, отраженных от приемного конца линии, так как даже при нагрузке тракта на характеристическое сопротивление коэффициент отражения волн напряжений модальных составляющих от приемного конца линии больше нуля. Тем не менее в силу принятых в пп.2.7 и 2.8 допущений влияние отраженных волн при определении собственного затухания и характеристического сопротивления тракта не учитывается.

К пп.2.17 и 2.18. Различие в затухании линейных трактов при однотипных (например, фаза-земля) схемах присоединения к различным фазам ВЛ обуславливается распространением энергии сигнала по нескольким модам с различными коэффициентами распространения, в результате чего затухание линейного тракта в значительной степени зависит от амплитудно-фазовых соотношений между напряжениями (токами) различных модальных составляющих в рабочем проводе на приемном конце ВЛ. При сравнительно небольшой разнице между коэффициентами распространения междуфазных мод или при низких частотах и малых длинах ВЛ, когда угол между векторами напряжений различных мод на приемном конце линии относительно невелик, разница в затухании линейных трактов с различными схемами присоединения к ВЛ оказывается небольшой. Как правило, эти условия соответствуют относительно коротким линиям напряжением до 220 кВ включительно. На длинных линиях 220 кВ и линиях 330-750 кВ разница между затуханиями различных однотипных по схеме присоединения линейных трактов может оказаться значительной. В этом случае предпочтительными являются такие схемы присоединения, при которых в линии возбуждается наибольшее относительное значение напряжения (тока) модальной составляющей с минимальными потерями в земле.

К пп.2.21 и 2.22. В настоящем издании Методических указаний введены изменения в определение переходных затуханий на дальнем конце между трактами, организованными по одной и той же линии или по двум линиям, заходящим на одну подстанцию, и введено понятие защищенности. Это более точно отвечает соответствующим понятиям, принятым в теории электросвязи по проводным линиям связи, и упрощает численную оценку влияний.

К п.2.23. Такое определение затухания соответствует рекомендациям МЭК [2].

К п.2.29. Табл.2.1 взята согласно [3].

К п.3.1.1. Максимальное значение произведения $f\beta\ell$, где ℓ - длина ВЛ, при котором расчет затухания линейного тракта можно производить, используя теорию симметричных линий, получено на основании обобщения результатов расчетов на ЭВМ по программе "Тракт" (см.приложение 1). Приведенные в табл.3.1 значения примерно соответствуют условию, когда разность между затуханиями линейных трактов с присоединением по схеме фаза 2 - земля (тракт с минимальным затуханием) и фаза 3 - земля (тракт с максимальным затуханием) равна 4 дБ (см.п.2.18).

К п.3.I.4. Значения волновых сопротивлений $Z_{в\phi}$ и $Z_{в0}$ и коэффициентов $K_{1\phi}$, K_{10}, K_{20} и K_{50} получены усреднением результатов расчетов, произведенных по методике [4] для ВЛ 35-220 кВ с унифицированными типами промежуточных опор. Значения $K_{2\phi}$ выбраны по приложению 2 таким образом, чтобы для наиболее часто встречающегося в практике диапазона изменения отношений $f/f_3 = 0{,}5 \div 15$ погрешность в определении α_ϕ не превышала +20%. При определении β_ϕ пренебрегаем отличием этого коэффициента от коэффициента в линии без потерь, а при определении β_0 пренебрегаем влиянием потерь в проводах на значение этого коэффициента, так как это влияние мало по сравнению с влиянием потерь в земле.

Для ВЛ с опорами, значительно отличающимися от унифицированных или при необходимости более точного определения коэффициентов распространения γ_ϕ и γ_0, расчет этих коэффициентов может производиться по приложению 2.

К п.3.I.5. За расчетное значение концевого затухания $a_к$ принимается его значение при КЗ нерабочих проводов на землю. При изоляции нерабочих проводов (линия отключена) значение $a_к$ возрастает примерно на 3,5 дБ. Имея в виду, что при отключенной линии затухание, вносимое заградителями по концам линии, равно нулю, а при заземлении линии оно приблизительно равно 5,0 дБ, сумма ($a_к$ + $a_з$) остается примерно постоянной при изменении входного сопротивления подстанции, к которой подключена линия, от нуля до бесконечности. Так как согласно рекомендациям МЭК (см.пояснения к п.2.23) расчетное значение затухания, вносимого заградителем, соответствует заземлению линии за заградителем, тот же режим линии принят для определения расчетного значения $a_к$.

Значение Δa_0 , вычисляемое по (3.5), позволяет учесть влияние напряжения падающей волны модальной составляющей все провода-земля на затухание линейного тракта с присоединением к линии по схеме фаза-земля. Как показано в [7], значение Δa_0 вычисляется по формуле

$$\Delta a_0 = 20 \lg \left| 1 + C_0 e^{-[0{,}115(\alpha_0 - \alpha_\phi) + j(\beta_0 - \beta_\phi)]\ell} \right| \quad \text{(П7.1)}$$

в которой коэффициент C_0 зависит от сопротивления, через которое заземлены нерабочие фазы. При изолированных нерабочих фазах значение C_0 максимально и равно I. Анализ выражения (П7.I) показывает, что Δa_0 в зависимости от значения $(\beta_0 - \beta_\phi)\ell$ принимает значение

$$\Delta a \leqslant 0 \quad \text{при} \ (\beta_0 - \beta_\phi)\ell \leqslant \pi/2; \quad \text{(П7.2)}$$

$$\Delta a_0 > 0 \quad \text{при} \ (\beta_0 - \beta_\phi)\ell > \pi/2. \quad \text{(П7.3)}$$

Расчеты показывают, что при $f_в \ell > 2 \cdot 10^3$ кГц·км значение $C_0 e^{-0{,}115(\alpha_0 - \alpha_\phi)\ell}$ оказывается настолько мало, что можно принять $\Delta a_0 = 0$. При заземленных нерабочих проводах $\Delta a_0 \approx 0$ при любых значениях разности $(\gamma_0 - \gamma_\phi)\ell$.

К п.3.I.6. Значение расчетного характеристического сопротивления линейного тракта для схемы присоединения фаза-земля зависит от сопротивлений, через которые заземлены нерабочие фазы, и изменяется примерно на 6% при изменении этих сопротивлений от 0 (КЗ) до бесконечности (ХХ) [I],[8] . Здесь принято значение, близкое к расчетному при КЗ нерабочих фаз. Для линейного тракта с присоединением к ВЛ по схеме фаза-фаза характеристическое сопротивление линейного тракта не зависит от того, через какое сопротивление заземлена нерабочая фаза (для несимметричных ВЛ это утверждение справедливо лишь приближенно).

К пп.3.2.I.2, 3.2.I.3. Согласно проведенным исследованиям по [I] , [6] , [7] , [8] , затухание линейного тракта и неравномерность этого затухания, вызванная волнами, многократно отраженными от концов линии, у линейных трактов с оптимальными схемами присоединения к ВЛ меньше, чем у трактов с неоптимальными схемами. Кроме того, параметры трактов с оптимальными схемами присоединения более стабильны при изменении внешних факторов. Погрешность расчета параметров таких трактов в меньшей степени зависит от погрешности задания удельного сопротивления грунта и толщины верхнего слоя грунта при его слоистой структуре.

Известно по [I], [6] , [7] , [8] , что нестабильность затухания линейного тракта при изменении внешних факторов, а также погрешность расчета этого затухания может неконтролируемо возрастать на частотах, близких к частотам полюсов затухания (это относится как к приближенным методам расчета, так и к

расчетам по программе "Тракт"). Поэтому рекомендуется ограничивать диапазон частот, передаваемых по трактам с неоптимальными схемами присоединения к любым ВЛ и с оптимальными схемами присоединения к транспонированным ВЛ, таким образом, чтобы стабильность параметров тракта, а также точность расчета затухания тракта оставалась в допустимых пределах.

К п.3.2.I.4. Значения коэффициентов в выражениях (3.8) для определения действительной и мнимой частей модальных коэффициентов распространения получены в соответствии с методикой [I], [6], [8] с использованием приложения 2. При этом значения коэффициентов K_{21} и K_{22}, определяющих влияние потерь в земле на коэффициенты затухания первой и второй моды, даются либо постоянными коэффициентами, либо достаточно простой функцией частоты. Они получены аппроксимацией соответствующих кривых рис.П2.4 и П2.5 при $\rho_з$ = I00 Ом·м.

Так как при расчете затухания линейного тракта необходимо знать не сами фазовые коэффициенты распространения различных мод, а разность между коэффициентами распространения второй и первой моды, в упрощенных методах расчета принято, что коэффициент фазы первой моды равен коэффициенту фазы в линии без потерь, а отличие коэффициентов фазы второй моды от коэффициента фазы в линии без потерь примерно равно $K_4 (K_{52} - K_{51}) f$, где K_{52} и K_{51} определяются в соответствии с рекомендациями приложения 2. Приведенные в табл.3.6 расчетные значения K'_{52} равны разности $K_{52} - K_{51}$, определенной в соответствии с рекомендациями приложения 2 для $\rho_з$ = = I00 Ом·м.

Все данные по коэффициентам в выражениях (3.8) даны для максимально возможной стрелы провеса фаз ВЛ, соответствующей температуре воздуха +40°С. При более низких температурах воздуха значение этих коэффициентов уменьшается.

При необходимости более точного определения модальных коэффициентов распространения при $\rho_з$, отличном от принятого здесь значения I00 Ом·м, необходимо пользоваться данными приложения 2.

К п.3.2.I.5. См.пояснения к п.3.2.I.4.

К п.3.2.I.7. Значения коэффициентов C_1 и C_2 (в 3.I0) получены по методике [8] для случая короткого замыкания нерабочих фаз. Для случая изоляции нерабочих фаз эти коэффициенты будут несколько иными. Точность расчета по (3.I0) обеспечивается только при соблюдении условий, оговоренных в пп.3.2.I.8 и 3.2.I.9. Вне пределов этого диапазона частот погрешность расчета может резко возрастать.

К п.3.2.I.8. Ограничения в диапазоне частот, передаваемых по линейному тракту, обусловлены тем, что вблизи частот, соответствующих полюсам затухания, погрешность расчета затухания может значительно превосходить погрешность в расчете коэффициентов распространения модальных составляющих [I], [6], [8]. Согласно проведенным исследованиям погрешность расчета затухания линейного тракта примерно равна погрешности определения α_S и β_S в том случае, если соблюдаются неравенства:

при использовании присоединения к одноименным фазам на обоих концах линии

$$(\beta_2 - \beta_1)\ell \leq \pi/2, \qquad (П7.4)$$

при использовании присоединения к разноименным фазам на обоих концах линии

$$(\beta_2 - \beta_1)\ell \leq 3\pi/2 \qquad (П7.5)$$

Эти ограничения снимаются при соблюдении в рассматриваемом диапазоне частот неравенств (3.I3) при A = 6 дБ, так как в этом случае напряжение моды 2 на приемном конце линии оказывается по крайней мере в два раза меньше напряжения моды I и погрешность расчета $a_{доп}$ на частоте полюса затухания будет в пределах допустимого.

Значения коэффициентов m в табл.3.I0 получены для расчетных значений K'_{52}, приведенных в табл.3.6. При более точном определении значений β_2 и β_1 в (П7.4) и (П7.5) (например, по данным приложения 2) значения коэффициентов m могут оказаться больше приведенных в табл.3.I0.

К п.3.2.I.9. Ограничения по использованию схем присоединения фаза-земля к разным фазам с разных концов ВЛ (схемы № 5, 6, I2 и I3 табл.3.9), записанные в виде неравенства (3.I6), обусловливаются тем, что эти схемы могут применяться лишь в том случае, когда падающая волна нулевой модальной составляющей практически полностью затухает на длине линии.

Ограничение, записанное в виде неравенства (3.I7), необходимо для уменьшения неравномерности затухания, вызванного многократно отраженными от концов линии междуфазными модами.

К п.3.2.I.I0. Значения коэффициентов C_1, C_2 и C_3 в формуле (3.I8) получены по методике [8] для случая КЗ нерабочих фаз на обоих концах ВЛ.

К п.3.2.I.II. См. пояснения к п.3.2.I.8.

К п.3.2.I.I2. Значения коэффициентов C_1, C_2, C_3 и C_4 в (3.23) получены согласно [8].

Номограммы рис.3.4 и 3.5 построены по методике, описанной в [8], и дают возможность достаточно быстро и просто определить затухание $a_{доп}$ для любого значения $\beta_з$.

К п.3.2.I.I3. См.соответствующее пояснение к п.3.2.I.9.

К п.3.2.I.I4. Ограничения в диапазоне частот, передаваемом по линейному тракту транспонированных ВЛ,обусловлены причинами, описанными в пояснении к п.3.2.I.8. Возрастание погрешности расчета затухания линейного тракта вблизи частот, соответствующих полюсам затухания, можно проследить по номограммам рис.3.4.

К п.3.2.I.I5. Формула (3.28) не учитывает влияния на коэффициент затухания внутрифазного тракта потерь в изоляции составляющих проводов расщепленной фазы. При использовании стеклопластиковых распорок эта формула дает достаточно хорошие результаты для частот до 500 кГц. На более высоких частотах необходимо учитывать потери в изоляции, увеличивая $\alpha_{вф}$, определенное по (3.28), на значение

$$\Delta\alpha_{из} = 8{,}7 Z_{в\,вф}\left[G_р/2\ell_р + G_{из}/2\ell_{пр}\right], \qquad (П7.6)$$

где $Z_{в\,вф}$ – волновое сопротивление внутрифазного тракта, Ом;

$G_р$ – активная проводимость изолирующей распорки, См;

$G_{из}$ – активная проводимость изоляторов, включенных между изолированными составляющими расщепленной фазы в месте ее подвески на промежуточных опорах, См;

$\ell_р$, $\ell_{пр}$ – среднее расстояние между смежными изолирующими распорками и средняя длина пролета, км.

Значение $Z_{в\,вф}$ вычисляется по формуле

$$Z_{в\,вф} \approx 120 \ln a/r, \qquad (П7.7)$$

где a – шаг расщепления, см;

r – радиус провода, составляющего расщепленную фазу, см.

Значение $G_р$ для сухой распорки можно принимать $G_р = 4 \cdot 10^{-8}$ См [8]. Значение $G_{из}$ (на один изолятор) можно принимать равным $f/10^9$ См [I].

К п.3.2.I.I7. Более точно значения коэффициентов отражения напряжения модальных составляющих при различных концевых условиях могут быть определены по [8]. При рекомендуемой схеме присоединения к нетранспонированной линии провод 2 – земля для расчета волн, отраженных от конца линии, необходимо знать коэффициент отражения первой модальной составляющей "саму в себя", т.е. K_{11}. Согласно [8] значение K_{11} для присоединения по схеме средняя фаза–земля к ВЛ с горизонтальным расположением проводов определяется по формуле

$$K_{11} = \frac{(q_{нр}-1)(\delta_{20}q_р+\lambda_{20}q_0)-(\delta_{21}q_р-\lambda_{21})(q_{нр}+q_0)}{(q_{нр}+1)(\delta_{20}q_р+\lambda_{20}q_0)-(\delta_{21}q_р+\lambda_{21})(q_{нр}+q_0)} \qquad (П7.8)$$

При подстановке в (П7.8) значений элементов матриц λ и δ, приведенных в приложении 2 для линии с горизонтальным расположением проводов, получается формула, практически совпадающая с (3.7). То же можно сказать и о коэффициенте K_{11} для схемы присоединения фаза–фаза.

К п.3.2.2.I. Формулировка пункта дана в соответствии с данными [8]. Расчет по (3.29) в сочетании с (3.9) справедлив только для частот до 300 кГц. В более высоком диапазоне частот расчеты следует производить на ЭВМ с учетом влияния на условия распространения волн емкости проводов и тросов на опору, а вблизи частот, соответствующих полюсам затухания

$$f_{пз} \approx K\,150/\ell_{пр} \quad (K = 1,2,\ldots), \qquad (П7.9)$$

и с учетом провисания фаз и тросов. При этом активное сопротивление стальных тросов принимается равным активному сопротивлению цилиндрического алюминиевого провода того же диаметра, увеличенного в 20 раз [8].

К п.3.2.2.2. Значения $a_{доп}$, приведенные в табл.3.I5 для схемы трос–трос, близки к максимально возможным. Они относятся к наивысшей частоте, указанной в таблице. Для

более низких частот значения $a_{доп}$ будут меньше.

При расчетах на ЭВМ по программе "Тракт" параметров трактов по изолированным грозозащитным тросам ВЛ 500-750 кВ следует обязательно учитывать влияние на условия распространения волн емкости фаз и тросов на опору.

К п.3.2.2.3. В частотных зависимостях затухания линейных трактов по грозозащитным тросам в диапазоне частот, определенных выражением (3.33), наблюдается полюс затухания, обусловленный периодически повторяющимися неоднородностями ВЛ - провисанием фаз и тросов в пролете и комплексными проводимостями фаз и тросов на опоры ВЛ. Затухание в указанных областях частот может увеличиваться относительно затухания на границах этих областей в 2 раза и более [8] .

К пп.3.2.3 и 3.2.4. Рекомендации этих пунктов основываются на данных [8] .

К п.3.2.3.4. Если при схеме присоединения фаза-земля замыкание произошло на таком расстоянии $\ell_п$ от одного из концов ВЛ, что затуханием волны все провода-земля на этой длине можно пренебречь, вносимое повреждением затухание приближенно определяется из упрощенной схемы рис.П7.1,а [8] . Условие (3.47) примерно соответствует оговоренному случаю.

При схеме присоединения фаза-фаза упрощенная схема рис.П7.1,б , по которой определяется затухание, вносимое повреждением в этот тракт, справедлива в том случае, когда разность фаз $(\beta_2 - \beta_1)\ell_п$ между напряжениями междуфазных мод в месте повреждения близка к нулю. Условие (3.48) примерно соответствует этому случаю.

Для симметричных ВЛ условие типа (3.48) отсутствует, так как по определению $(\beta_2 - \beta_1) = 0$.

К пп.3.2.3.5 и 3.2.3.6. Условие (3.49) для схемы присоединения фаза-земля соответствует такому расстоянию, при котором затухание моды все провода-земля на длине $\ell_п$ достаточно велико и напряжение падающей волны этой моды в месте повреждения можно не учитывать. В этом случае коэффициент передачи падающей волны междуфазной моды определяется исходя из эквивалентной схемы замещения, представленной на рис.П7.2, на примере ВЛ с горизонтальным расположением проводов.

Условие (3.50) для схемы присоединения фаза-фаза соответствует такому расстоянию $\ell_п$, при котором произведение $(\gamma_2 - \gamma_1)\ell_п$ заметно отличается от нуля и повреждение может привести к увеличению затухания линейного тракта не только из-за потерь в месте повреждения, но и из-за ухудшения амплитудно-фазовых соотношений между напряжениями модальных составляющих на приемном конце ВЛ.

Как уже указывалось в пояснениях к п.3.2.3.4 при рассмотрении симметричных или несимметричных ВЛ с оптимальными схемами присоединения условие (3.50) можно не принимать во внимание.

К п.3.2.3.6. Формулы получены для симметричной ВЛ в [1] , [8] . Как показано в [8] , эти формулы могут использоваться и при рассмотрении оптимальных схем присоединения к нетранспонированным ВЛ.

К п.3.2.3.7. Если выдерживаются ограничения п.3.2.1.14, затухание, вносимое удаленными с концов ВЛ однофазными КЗ в линейный тракт по транспонированной линии, примерно равно затуханию, определенному при замене этой ВЛ эквивалентной симметричной [8] . Вне диапазона частот, определенного по п.3.2.1.14, затухание, вносимое однофазными КЗ, может быть значительно больше определенного по п.3.2.3.6.

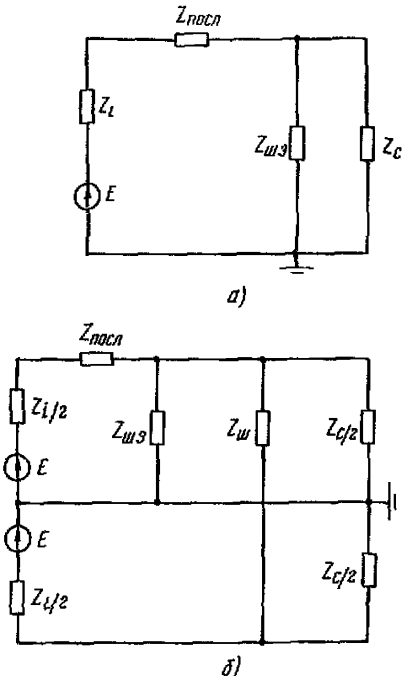


Рис.П7.1. Расчетная схема при определении затухания, вносимого повреждениями вблизи одного из концов линии:

а - присоединение к ВЛ по схеме фаза-земля;
б - присоединение к ВЛ по схеме фаза-фаза

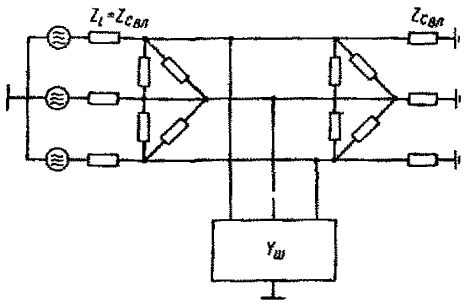


Рис.П7.2. Эквивалентная схема замещения при определении затухания, вносимого повреждением вдали от концов ВЛ

К п.3.2.3.8. Номограммы, пример которых дан на рис.3.8, строятся по методике, изложенной в приложении 4. Полученные из номограммы значения $a_{доп\ макс}$ соответствуют дополнительному затуханию при данном виде КЗ в некоторой ограниченной части линии. При КЗ в других местах линии значение $a_{доп}$ будет меньше определенного из номограммы. О характере изменения $a_{доп}$ при перемещении места двухфазного КЗ вдоль по длине линии можно судить по рис.П4.2.

К п.3.2.5.1. Упрощенные методы расчета затухания, вносимого гололедно-изморозевыми отложениями, справедливы только для ВЛ, все провода которой одинаковы. Применение этих методов для расчета затухания трактов с присоединением к грозозащитным тросам ВЛ 500-750 кВ с двумя проводящими грозозащитными тросами может привести к значительной погрешности расчета (в сторону завышения затухания). Поэтому дополнительное затухание, вносимое гололедно-изморозевыми образованиями в тракты по тросам (исключая внутритросовые тракты) ВЛ 500 и 750 кВ, рекомендуется определять с помощью расчета на ЭВМ.

К пп. 3.2.5.2 и 3.2.5.3. Изменение коэффициента затухания и коэффициента фазы для S -й моды несимметричной линии с одинаковыми проводами, покрытыми гололедом, относительно коэффициентов для линии с одинаковыми проводами без гололеда определяется по формулам [23] :

$$\Delta\alpha_{rS}=\left(\frac{60K_4\alpha_S}{p\,K_{ZS}Z_{CS}}+\frac{M_{\alpha S}}{K_{ZS}}\right)\ell n\left(1+2d_л/d_{пр}\right), \quad (П7.10)$$

$$\Delta\beta_{rS}=\left(\frac{60K_4\Delta\beta_S}{p\,K_{ZS}Z_{CS}}+\frac{M_{\beta S}}{K_{ZS}}\right)\ell n\left(1+2d_л/d_{пр}\right); \quad (П7.11)$$

$$K_{ZS}=1-\frac{60K_4}{pZ_{CS}}\ell n\left(1+2d_л/d_{пр}\right), \quad (П7.12)$$

$$M_{\alpha S}=\frac{4\pi 10^{-7}f10^3tg\delta_л 10^3K_4}{0{,}115\cdot 2Z_{CS}p\,\varepsilon'_л(1+tg^2\delta_л)}\ ; \quad (П7.13)$$

$$M_{\beta S}=\frac{4\pi 10^{-7}f10^3\left[\varepsilon'_л(1+tg^2\delta_л)-1\right]10^3K_4}{2Z_{CS}p\,\varepsilon'_л(1+tg^2\delta)}; \quad (П7.14)$$

$$\left.\begin{aligned} tg\delta_л&=\frac{\left[\sqrt{\varepsilon_1/\varepsilon_\infty}-\sqrt{\varepsilon_\infty/\varepsilon_1}\right]f/f_0}{1+(f/f_0)^2},\\ \varepsilon'_л&=\frac{\varepsilon_\infty\left[1+(f/f_0)^2\right]}{\varepsilon_\infty/\varepsilon_1+(f/f_0)^2},\\ f_0&=10\sqrt{\varepsilon_1/\varepsilon_\infty}\,/\left(Ae^{-Bt}\right). \end{aligned}\right\} \quad (П7.15)$$

В приведенных формулах α_S и $\Delta\beta_S$ - коэффициент затухания (дБ/км) и отличие коэффициента фазы (рад/км) от коэффициента фазы в линии без потерь для S -й моды ВЛ с проводами без гололеда;

Z_{CS} - волновое сопротивление S -й моды, определенное без учета потерь и гололедного покрытия;

K_{ZS} - коэффициент, учитывающий изменение Z_{CZ} для линии, покрытой гололедом, когда эквивалентный радиус провода принимается равным сумме радиуса провода и толщины гололедного покрытия;

p - число проводов в расщепленной фазе;

$d_{пр}$ - диаметр составляющей расщепленной фазы;

ε_∞ и ε_1 - оптическая и статическая диэлектрические постоянные льда;

f_0 - частота, для которой $tg\delta_л$ максимален;

A и B - коэффициенты, определяющие зависимость f_0 от t °С.

Первыми слагаемыми в скобках выражений (П7.10) и (П7.11), учитывающими изменение коэффициентов α_S и $\Delta\beta_S$ при наличии гололеда, можно пренебречь ввиду их малости относительно вторых слагаемых, учитывающих потери в гололеде.

По данным [19], [20] ε_1 = 91,2; ε_∞ = 3,0; A = 1,16; B = 0,101.

Исследования, проведенные для трехпроводной ВЛ с горизонтальным расположением проводов, показали, что $K_{Z_1}Z_{C_1} < K_{Z_2}Z_{C_2} < K_{Z_0}Z_{C_0}$, откуда следует, что

$$\left.\begin{aligned}\Delta\alpha_{\Gamma_1} > \Delta\alpha_{\Gamma_2} > \Delta\alpha_{гол}\,,\\ \Delta\beta_{\Gamma_1} > \Delta\beta_{\Gamma_2} > \Delta\beta_{гол}\,.\end{aligned}\right\} \qquad (П7.16)$$

Из анализа выражения (3.9) для определения затухания линейного тракта с учетом соотношений (П7.16) следует, что затухание линейного тракта с учетом гололеда увеличивается в основном за счет изменения затухания основной (как правило, первой) моды, так как изменение значения $a_{доп}$ в диапазоне частот, оговоренном пп.3.2.1.8, 3.2.1.9, 3.2.1.11 и 3.2.1.14, относительно невелико. Поэтому для трактов по фазам ВЛ значение $\Delta\alpha_{гол}$ определяется для моды I (Z_{C_1} = 360 Ом), для внутрифазных и внутритросовых трактов – для внутрифазных и внутритросовых мод (соответственно $Z_{C\,вф}$ = 200 Ом, $Z_{C\,вт}$ = 240 Ом).

Подставляя в (П7.10) и (П7.12) Z_{CS} для моды I (S = 1) и заменяя в этих формулах натуральный логарифм на десятичный, можно получить формулу (3.54), в которой коэффициент K_{CX} учитывает различие в значениях Z_{CS} для соответствующих мод. При определении $m_{гол}$ в (3.54) по (П7.13) значение f_0 определялось для t = -2°С.

Формула (3.55), по которой определяется затухание при изморози, является весьма приближенной и получена на основании анализа данных для воздушных линий связи.

При анализе влияния гололедно-изморозевых отложений на тракты по грозозащитным тросам следует иметь в виду, что из-за отсутствия подогрева тросов током нагрузки гололедно-изморозевые отложения на тросах могут наблюдаться при отсутствии этих отложений на фазах. Кроме того, при прочих равных условиях толщина гололедно-изморозевых отложений на тросах может быть больше, чем на фазах.

К п.3.2.5.4. Увеличение затухания внутритросовых и внутрифазных трактов при дожде отмечено только при сильных дождях, когда на поверхности изолирующей распорки образуется сплошной "мостик" из воды, увеличивающий активную проводимость распорки. По данным [14] при сильном дожде проводимость распорки определяется приближенным выражением

$$G_p \approx f/10^8 \qquad (П7.17)$$

Подставляя это выражение в (П7.6) и принимая ℓ_p = 0,06 км, можно получить выражение (3.56).

Длина линии, находящейся под дождем, взята в соответствии с [15].

К п.3.3.1. Выражение (3.60) получено упрощением выражения (3.73) при допущении $\alpha_\Phi \ell_{отв}$ = 0. В формуле (3.66) принято, что скорость распространения междуфазных волн равна скорости распространения волн в линии без потерь $V_\Phi = 3 \cdot 10^5$ км/с.

К п.3.3.3. Выражение (3.69) и формулы для определения значений ξ получены для случая короткого ответвления ($\alpha_\Phi \ell_{отв} \leq 1$ дБ) для частот, при которых входное сопротивление ответвления близко к нулю. (При выводе формул принято: $Z_{вх\,отв}$ = 0). Вывод выражений – см. [8].

К п.3.3.5. Получение формул этого пункта – см. [8].

К пп.3.4.3, 3.4.4. Выводы и рекомендации, приведенные в этих пунктах, основаны на исследованиях, результаты которых изложены в [16] и [1], [8].

К п.3.6. Материал этого пункта основывается на [1], [8].

К п.3.8.1.1. Расчетная формула (3.113) и значение коэффициентов в ней получены в [8] для линии с горизонтальным расположением проводов упрощением соответствующих точных аналитических выражений при условии, что линия имеет полубесконечную длину. Учет влияния конечной длины на уровень помех может быть произведен по формуле

$$P_{пом\,\ell} = P_{пом} + 10\lg\left|1 - e^{-0{,}23\alpha\ell}\right|. \qquad (П7.18)$$

Тем не менее при определении расчетного уровня помех не рекомендуется учитывать эту поправку, имея в виду, что уровень помех на данной ВЛ несколько увеличивается за счет поступления на ее вход помех от других ВЛ, заходящих на ту же подстанцию, что и рассматриваемая линия.

Формула для определения генерации помех (3.114) получена на основании обобщения большого числа долговременных измерений, проведенных как в СССР [1], [8], так и за рубежом [17], [18].

К п.3.8.I.2. Принято, что генерация помех изменяется с изменением высоты над уровнем моря той территории, где проходит ВЛ, на I дБ на каждые 300 м [I7] , [I8] .

Формула (3.II8) получена обобщением серии расчетов для конкретных ВЛ, проходящих в горных условиях. Высота $H_{ср}$, входящая в (3.II8), определяется как

$$H_{ср} = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^{\kappa} H_i \ell_i \ , \qquad (П7.I9)$$

где H_i , ℓ_i – высота над уровнем моря (НУМ) и длина i -го участка ВЛ, для которого можно принять высоту НУМ неизменной;

κ – число участков, на которое разбита вся высокогорная ВЛ длиной ℓ .

К п.3.8.I.3. Так как при внутрифазном присоединении напряжение внешних помех от короны не выделяется на нагрузке линейного тракта, то при определении уровня помех для этого вида тракта используют выражение (П7.I8).

К п.3.8.I.4. Уровни флуктуационных помех, приведенные в табл.3.2I, для ВЛ 35-II0 кВ, где помехи обусловлены не короной, а другими источниками (частичными разрядами в изоляции, например), взяты по данным предыдущего издания; для ВЛ 220 кВ и выше получены на основании расчетов по п.3.8.I.I для ВЛ с горизонтальным расположением проводов при присоединении по схемам средняя фаза-земля и фаза средняя-фаза крайняя. ВЛ в расчетах брались с усредненными геометрическими размерами, характеризующими подвеску проводов, и наиболее характерной конструкцией фазы (по данным института "Энергосетьпроект"). В табл.П7.I приведены исходные данные и результаты расчетов уровней помех. Полученные данные хорошо корреспондируются с данными СИГРЭ [I8] и МЭК [I9], а также с результатами измерений, проведенных в СССР.

Зависимость расчетного уровня помех от частоты определяется зависимостью от частоты коэффициента затухания в (3.II3).Значения коэффициента K_f в формуле (3.I20) получаются, если принять, что коэффициент затухания α_1 пропорционален частоте в степени 0,5 для ВЛ 220 кВ и внутрифазного тракта по ВЛ 330 кВ, частоте в степени 0,7 и 0,85 – соответственно для ВЛ 330 кВ и ВЛ 500-750 кВ.

К п.3.8.I.9. Об изменении формы кривой зависимости среднеквадратического напряжения помех от короны и фазы напряжения промышленной частоты см. [22] .

К п.3.8.2. Формула (3.I23) получена в [8] на основании обработки результатов серии расчетов на ЭВМ по программе "NOISE" (см.приложение I). Уровень помех во внутритросовом тракте в значительной степени зависит от состояния изоляции составляющих расщепленного троса относительно земли, от идентичности частотных зависимостей входных сопротивлений и затухания устройств обработки и присоединения к отдельным составляющим

Таблица П7.I

Исходные данные и результаты расчета уровней помех

Напряжение ВЛ, кВ	Расстояние между смежными фазами, м	Конструкция фазы[1ж]	E кВ/см	Γ дБ	α_1 дБ/км	$K_ц$	$P_{пом}$ дБ
220	5,78	1xI,20[2ж]	24,77	-6,9	$3{,}5 \cdot 10^{-2}$	I	-28,0
330	8,2	2xI,20/40[2ж]	25,94	-4,2	$2{,}7 \cdot 10^{-2}$	I,35	-25,7
500	I2	3xI,26/40[3ж]	27,43	+0,I	$2{,}3 \cdot 10^{-2}$	I,45	-2I,0
750	I8	5xI,20/40[2ж]	28,2	+I,0	$2{,}3 \cdot 10^{-2}$	I,5	-20,3
750	I9,5	4xI,455/60[4ж]	28,3	+4,4	$2{,}6 \cdot 10^{-2}$	I,5	-I8

[1ж]Запись делается в виде: (число проводов в расщепленной фазе) x (радиус провода)/шаг расщепления. [2ж]Провод АС 300/39. [3ж]Провод АС 330/43. [4ж]Провод АС 400/93.

расщепленного троса. При исправной изоляции составляющих расщепленного троса от земли и соответствии параметров устройств обработки и присоединения нормам уровень помех в ВТ тракте должен соответствовать расчетному.

К п.3.8.3.1. Значения уровней помех получены по данным [8], [I8] , [I9] .

К п.3.8.3.2. Рассматриваемые виды помех характерны тем, что значение и фаза напряжения помех в каждый момент времени примерно одинаковы для обеих составляющих расщепленной фазы или троса и разность этих напряжений оказывается весьма малой. Тем не менее, при неодновременном срабатывании разрядников в фильтрах присоединения под воздействием перенапряжений в ВФ и ВТ трактах могут кратковременно появляться импульсы помех со значительными амплитудами.

К п.4.1. Все данные этого раздела основываются на материалах, обобщенных в [8] .

К п.4.2.I.4. Формула (4.4) получена упрощением выражений (П6.2) и (П6.3), записанных для присоединения к обеим ВЛ по схеме средняя фаза–земля при $\ell_1 = \ell_3 = 0$ (см.рис.П6.I). При этом принято, что влияния обусловлены только токами и напряжениями нулевой модальной составляющей все провода–земля и что в знаменателе (П6.2) $\gamma_0 \approx j\omega/2{,}7 \cdot 10^5$. Численные значения элементов матриц λ , δ , λ^{-1}, δ^{-1} и Z_β , входящих в (П6.2) и (П6.3), взяты по данным приложений 2 и 4. Приближенные формулы (4.5) для определения коэффициентов $F_{K\ell}$ получены в [22] . Значения $\beta'_{K\ell}$ и $A_{\Pi\delta\infty}$ приведенные на рис.4.4 и ч.5, получены с помощью расчета для случая сближения ВЛ одинакового класса напряжения со следующими исходными данными

Напряжение ВЛ кВ	2 (	33С	((	75С
Расчетная высота подвеса фаз, м	8,5	II	II	I5
Расстояние между смежными фазами, м	5,78	8,2	I2	I6
Конструкция фазы	Iх0,0I08	2х0,0I22/0,4	3х0,0I37/0,4	5х0,0I26/0,4

К п.4.2.I.5. При $\beta_0 \ell_{nc} > \pi/2$ не учитывается возможное увеличение переходного затухания вблизи частот, для которых $\beta_0 \ell_{nc} = K\pi$ (пунктир на рис.4.6).

К п.4.2.I.6. Переходное затухание в этом случае можно рассчитать по формулам (П6.2), (П6.3), приняв в (П6.2) $\ell_1 - \ell_3 = 0$.

К п.4.2.I.7. Принято квадратичное суммирование напряжений, обусловленных одним и другим видом паразитных связей.

К п.4.3.3. Формулы (4.II) – (4.I6) являются разновидностями формулы

$$A_{\delta 2/2} \approx \alpha_1(\ell_1 + \ell_3) + 20\lg\left|\frac{2g}{(\beta_1 + jQ_1)(1 - e^{-2\gamma_1\ell_{nc}})}\right|, \quad (\Pi7.20)$$

которая получена упрощением выражений (П6.2) и (П6.3) для схемы присоединения фаза средняя–земля с учетом допущения, что влияние обуславливаются только токами и напряжениями модальной составляющей I средний провод – два крайних провода, а токи и напряжения модальной составляющей все провода–земля полностью затухают на длине ℓ_1 и ℓ_3 однородных участков ВЛ (см.рис.П6.I). При этом принято, что значение γ_1 в знаменателе (П6.2) может быть взято равным $\gamma_1 \approx j\omega/3 \cdot 10^5$.

Значения элементов матриц λ ; δ ; λ^{-1}, δ^{-1} и Z_β , входящих в (П6.2) и (П6.3), взяты по данным приложений 2 и 4.

Так как значение знаменателя в (П7.20) равно разности двух примерно одинаковых значений (см.выражения для P_1 и Q_1 в (4.I4), расчет по этому выражению дает лишь оценку значения A_δ . Более точно это значение может быть вычислено по программе "Тракт".

Формулы (4.II) – (4.I3) получены из (П7.20).

При этом

$$\beta_1\ell_{nc} \leq \pi/2, \quad \alpha_1\ell_{nc} \approx 0$$

Расчет по формуле (4.I5) дает минимальное значение A_δ , которое изменяется от максимального до минимального значения при изменении $\beta_1\ell_{nc}$ на каждые $\pi/2$ радиан из-за изменения $(1 - e^{-2\beta_1\ell_{nc}})$ от $(1 + e^{-0{,}23\alpha_1\ell_{nc}})$ до $(1 - e^{-0{,}23\alpha_1\ell_{nc}})$.

К п.4.3.4. Формула (4.I7) получена упрощением формул (П6.4) ÷ (П6.6), записанных для присоединения к обеим ВЛ по схеме фаза средняя-земля при допущении, что влияние обуславливается только токами и напряжениями первой модальной составляющей.

К п.5.I.2. Допустимое соотношение сигнала и помехи, норма на запас по затуханию и на допустимую неравномерность затухания ВЧ тракта должны определяться нормами на канал связи, организуемый по рассматриваемому тракту.

К п.5.I.3. Сопротивление R в средней точке симметрирующего трансформатора при присоединении к линии по схеме фаза-фаза устанавливается для уменьшения влияния повреждения одной из рабочих фаз или устройств обработки и присоединения одной из рабочих фаз на затухание ВЧ тракта. Заземление одной из рабочих фаз обязательно надо учитывать при работе по схеме фаза-фаза разных цепей двухцепных ВЛ, когда одна из цепей может быть выведена в ремонт и заземлена.

К п.5.2.I. Формула (5.3) получена из (3.59) и (3.60) с учетом возможной погрешности 5% при определении длины ответвления $\ell_{отв}$, 2% - при определении $\beta_{ф}$ и I0% - при определении $C_{пс}$. При этом считается, что длина ответвления не превосходит I/4 длины волны максимально передаваемой по тракту частоты.

К п.5.3.3. Недостатком схемы рис.5.4 является то, что кабель от фильтра присоединения до АУ для сквозных каналов, проходящих транзитом через обход, является ответвлением, нагруженным на реактивное входное сопротивление АУ. Как известно, такое ответвление может внести в сквозной тракт значительное затухание.

Список использованной литературы

1. КОСТЕНКО М.В., ПЕРЕЛЬМАН А.С., ШКАРИН Ю.П. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. - М.: Энергия, I973.
2. *Publication 353 „Line Traps", international electrotechnical commission, 1971*
3. ПРАВИЛА устройства электроустановок. Шестое издание, перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, I986.
4. ОРЛОВ В.Н., СИДЕЛЬНИКОВ В.В. Метод расчета ВЧ параметров воздушных линий электропередачи. - Электросвязь, I962, № 7.
5. КОСТЕНКО М.В., СИДЕЛЬНИКОВ В.В., ОРЛОВ В.М. Параметры воздушных и кабельных линий электропередачи. В кн.: Сборник работ по вопросам электромеханики. Вып.5.- М.-Л.: Издательство Академии наук СССР, I96I.
6. ШКАРИН Ю.П. Приближенное определение ВЧ параметров схем присоединения провод-земля к трехпроводным ВЛ и некоторые рекомендации по выбору оптимальных схем присоединения. В кн.: Вопросы эксплуатации устройств связи и телемеханики в энергосистемах. Вып.I0. - М.: Энергия, I970.
7. ШКАРИН Ю.П. Нестабильность затуханий ВЧ трактов линий электропередачи. В кн.: Вопросы эксплуатации устройств связи и телемеханики в энергосистемах. Вып.I0. - М.: Энергия, I970.
8. МИКУЦКИЙ Г.В., ШКАРИН Ю.П. Линейные тракты каналов ВЧ связи по линиям электропередачи. - М.: Энергоатомиздат, I986.
9. ЖУРАВСКАЯ Г.Я. ВЧ параметры трансформаторов МТЗ. В кн.: Наладочные и экспериментальные работы ОРГРЭС. Вып.22. - М.: Энергия, I960.

10. ЖУРАВСКАЯ Г.Я. ВЧ параметры высоковольтного измерительного, коммутационного и защитного оборудования подстанций 35, 110 и 220 кВ. В кн.: Наладочные и экспериментальные работы ОРГРЭС. Вып.24. – М.: Энергия, 1960.

11. ШКАРИН Ю.П. К расчету входного сопротивления подстанций 35-500 кВ. В кн.: Вопросы эксплуатации устройств связи в энергосистемах. Вып.2. – М.: Энергия, 1963.

12. НЕЗАМЕТДИНОВА Н.М., ШКАРИН Ю.П. Измерения параметров подстанций 500 кВ. В кн.: Вопросы эксплуатации устройств связи в энергосистемах. Вып.7. – М.: Энергия, 1965.

13. ВОБЛИКОВА Н.В., ШКАРИН Ю.П. Методы расчета дополнительного затухания ВЧ трактов по воздушным линиям при коротких замыканиях. В кн.: Каналы связи в энергосистемах. – М.: Энергоиздат, 1981.

14. ИШКИН В.Я., ЦИТВЕР И.И. Высокочастотная связь по линиям электропередачи 330-750 кВ. – М.: Энергоиздат, 1981.

15. АЛИБЕГОВА Ж.Д. Структура полей жидких осадков за короткие интервалы времени. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975.

16. ШКАРИН Ю.П. Определение зоны повышенного затухания тракта с обходом и некоторые рекомендации по уменьшению затухания. В кн.: Вопросы эксплуатации устройств связи и телемеханики в энергосистемах". Вып.13. – М.: "Энергия", 1973.

17. *Transmission line reference book. 345 kV and above. Second edition, EPRI, 1982.*

18. *Guide on power line carrier. CIGRE, SC 35, 1978.*

19. *Planning of SSB power line carrier systems, Publication 663, IEC, 1980.*

20. ПАУНДЕР Э., Физика льда. – М.: Мир, 1967.

21. БОГОРОДСКИЙ В.В., ГАВРИЛО В.П. Лед. Физические свойства, современные методы гляциологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980.

22. ШКАРИН Ю.П. Влияние дождя на параметры помех от короны. В кн.: Передача информации в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

23. ЮСТЕНКО М.В. Взаимные сопротивления между воздушными линиями с учетом поверхностного эффекта в земле. – Электричество, 1955, № 10.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ 3

I. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УПРОЩЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ И РАСЧЕТОВ НА БОЛЬШИХ ЭВМ ПО ТОЧНЫМ МЕТОДАМ 4

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 5

3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА И УРОВНЕЙ ВЧ ПОМЕХ I2

3.I. Параметры линейного тракта по симметричным ВЛ I2

3.2. Параметры линейного тракта по несимметричным ВЛ I4

3.2.I. Линейные тракты по фазным проводам ВЛ I4

3.2.2. Линейные тракты по изолированным грозозащитным тросам 29

3.2.3. Затухание линейного тракта по фазам с учетом повреждения фаз и тросов 30

3.2.4. Затухание линейного тракта по изолированным грозозащитным тросам ВЛ 500-750 кВ с учетом повреждения фаз и тросов..... 33

3.2.5. Затухание линейного тракта с учетом гололеда, изморози и дождя 35

3.3. Параметры линейного тракта с ответвлениями 36

3.4. Параметры линейного тракта с обходами 40

3.5. Параметры линейного тракта с кабельной вставкой в ВЛ 43

3.6. Учет влияния многократно отраженных волн от мест нарушения однородности ВЛ и КЛ на затухание и входное сопротивление линейного тракта 44

3.7. Устройства обработки и присоединения 47

3.7.I. Высокочастотный заградитель 47

3.7.2. Устройство присоединения 47

3.7.3. Разделительный фильтр 47

3.7.4. Высокочастотный кабель 48

3.8. Помехи 48

3.8.I. Помехи от короны в трактах по фазам 48

3.8.2. Помехи от короны в трактах по тросам 50

3.8.3. Коммутационные и другие виды помех, не связанные с короной на фазах 5I

4. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ЗАТУХАНИЙ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ЛИНЕЙНЫМИ ТРАКТАМИ..... 52

4.I. Переходные затухания между трактами по одной линии..... 52

4.I.I. Переходные затухания на ближнем конце линии 52

4.I.2. Защищенность и переходные затухания на дальнем конце линии... 53

4.2. Переходные затухания между трактами по линиям, заходящим на одну общую подстанцию 53

4.2.I. Переходное затухание подстанции на ближнем конце 53

4.2.2. Переходное затухание подстанции на дальнем конце 55

4.3. Переходное затухание между трактами по ВЛ, заходящими на разные подстанции и имеющие параллельное сближение на трассе их прохождения 59

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ СХЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ВЧ ТРАКТОВ 6I

5.I. Общие рекомендации 6I

5.2. Тракт с ответвлениями 62

5.3. Тракт с обходами 62

Приложение I. Указания по пользованию программами "Тракт", "NOISE", "Тракт-85" и "ЕОП-86" 63

Приложение 2. Модальные параметры симметричных и несимметричных ВЛ 69

Приложение 3. Формула для определения затухания линейного тракта по трехпроводной транспонированной ВЛ с горизонтальным расположением проводов и с одной транспозицией 81

Приложение 4. Алгоритм для определения $a_{доп\ макс}$ при КЗ на трехпроводной ВЛ с горизонтальным расположением проводов..... 82

Приложение 5. Определение входного сопротивления подстанции 85

Приложение 6. Приближенные формулы для определения переходного затухания на ближнем и дальнем концах для двух ВЛ, заходящих на разные подстанции и имеющих параллельное сближение на трассе их прохождения 86

Приложение 7. Пояснения к пунктам разделов 2-5, отмеченных звездочкой 88

Список использованной литературы..... 97

Ответственный редактор Р.Р.Яблокова
Литературный редактор А.А.Шиканян
Технический редактор Н.Д.Архипова
Корректор В.Д.Алексеева

Подписано к печати 30.II.88 Формат 60x84 I/8
Печать офсетная Усл.печ.л. II,6 Уч.-изд.л.I0,6 Тираж I400 экз.
Заказ № 23/89 Издат. № 87824

Производственная служба передового опыта эксплуатации энергопредприятий Союзтехэнерго
I05023, Москва, Семеновский пер., д.I5

Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
I09432, Москва, 2-й Кожуховский проезд, д.29, строение 6

gost.e-ecolog.ru