



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

K.68

(02/2006)

СЕРИЯ К: ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

**Управление электромагнитными помехами,
создаваемыми системам электросвязи со
стороны систем энергоснабжения**

Рекомендация МСЭ-Т K.68

Рекомендация МСЭ-Т К.68

Управление электромагнитными помехами, создаваемыми системам электросвязи со стороны систем энергоснабжения

Резюме

В настоящей Рекомендации рассматривается управление электромагнитными (э.м.) помехами, вызванными электроэнергетическими системами и электрифицированными тяговыми системами в системах электросвязи.

В настоящей Рекомендации определяются процедуры для оценки допустимости э.м. помех и предоставляются:

- критерии, определяющие ситуации с помехами, которые необходимо изучать;
- управляющие напряжения помех, которые должны применяться;
- условия установки электроэнергетических систем, электрифицированных тяговых систем и систем электросвязи, при которых применимы управляющие напряжения.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т К.68 утверждена 13 февраля 2006 года 5-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

Ключевые слова

Повреждение, опасность, нарушение нормальной работы, помехоустойчивость, неправильное функционирование, шум, помеха на частоте сети, сопротивляемость, безопасность.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации носит добровольный характер. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (например, для обеспечения возможности взаимодействия или применимости), и соблюдение положений данной Рекомендации достигается в случае выполнения всех этих обязательных положений. Для выражения необходимости выполнения требований используется синтаксис долженствования и соответствующие слова (такие, как "должен" и т.п.), а также их отрицательные эквиваленты. Использование этих слов не предполагает, что соблюдение положений данной Рекомендации является обязательным для какой-либо из сторон.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2006

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Сфера применения	1
2	Нормативные справочные документы	2
3	Определения	3
4	Процедура для оценки э.м. помех.....	7
4.1	Общие положения.....	7
4.2	Область действия помех.....	8
4.3	Сбор электрической информации по индуцирующим объектам	9
4.4	Оценка результатов помех и соответствие управляющим напряжениям	9
5	Ситуации с помехами, которые должны быть изучены	10
5.1	Типы связи, которые должны быть рассмотрены.....	10
5.2	Эталонное расстояние воздействия	11
6	Управляющие напряжения.....	19
6.1	Критерии, которые определяют область применения управляющих напряжений	19
6.2	Опасные напряжения: предельные значения	19
6.3	Напряжения повреждения.....	20
6.4	Напряжения помехоустойчивости	21
6.5	Напряжение шума: предельные значения	21
7	Эталонные условия помехи.....	22
7.1	Общие сведения	22
7.2	Условия, относящиеся к индуцирующему объекту	22
7.3	Условия, относящиеся к объектам электросвязи.....	26
8	Определение соответствия с управляющим напряжением	26
8.1	Общие положения.....	26
8.2	Наложение эффектов.....	27
8.3	Определение соответствия с помощью вычислений.....	27
8.4	Определение соответствия с помощью измерений	27
9	Управление помехами	27
9.1	Общие сведения	27
9.2	Срок службы объекта	28
9.3	Обмен информацией.....	28
9.4	Документация на объект	28
	Приложение А – Метод оценки эталонного расстояния воздействия.....	29
A.1	Индуктивная связь	29
A.2	Гальваническая связь	34

Дополнение I – Весовые коэффициенты, предназначенные для использования при определении психофизически взвешенного напряжения	41
Дополнение II – Значения величин, которые оказывают влияние на эталонное расстояние воздействия в случае индуктивной связи	43
II.1 Ориентировочные значения.....	43
II.2 Значения параметров, используемых при оценке RID: индуктивная связь	50
II.3 Значения параметров для оценки RID: гальваническая связь	52
Дополнение III – Этапы определения значений RID для линий электропередач переменного тока или электрифицированных тяговых линий переменного тока.....	54

Введение

Директивы (*Директивы относительно защиты линий электросвязи от вредных эффектов, возникающих под воздействием электроэнергетических линий и электрифицированных железнодорожных линий*) являются справочными документами, рассматривающими электромагнитные помехи (э.м. помехи), вызванные электроэнергетическими системами и электрифицированными тяговыми системами в системах электросвязи. Директивы (1989 года издания) состоят из 9 томов, каждый из которых рассматривает отдельную часть общей проблемы. Их использование можно описать следующим образом:

- для того чтобы получить общее понимание электросвязи, энергетики и электрифицированных железных дорог, а также эффектов взаимной связи между ними, обращайтесь к Тому I;
- для того чтобы получить дополнительную информацию по индуцирующим установкам в электроэнергетических системах или в электрифицированных тяговых системах, обращайтесь к Тому IV (железнодорожные системы) или к Тому V (энергетические системы);
- для того чтобы получить понимание физико-математической теории э.м. помех и методов расчета с различными уровнями детализации и точности, обращайтесь к Тому II и к Тому III;
- для того чтобы понять эффекты воздействия индуцируемых напряжений и токов, т. е. опасность и нарушение нормальной работы, а также за рекомендуемыми предельными значениями, обращайтесь к Тому VI;
- для того чтобы получить консультацию по компонентам защиты и по сложным защитным устройствам, обращайтесь к Тому VIII;
- для того чтобы получить информацию по методам тестирования и измерений, имеющим отношение к данной проблеме, обращайтесь к Тому IX.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Содержание Директив было официально одобрено МСЭ, СИГРЭ (International Council on Large Electric Systems – Международный совет по большим системам высокого напряжения) и UIC (International Union of Railways – Международный союз железных дорог).

Начиная со своего первого издания (1952 г.) Директивы были всемирным справочным текстом в области э.м. помех, использовались для создания региональных и национальных стандартов, даже для таких областей применения, которые отличаются от рассматриваемых в Директивах, но тем не менее оказываются связанными с ними, подобно э.м. помехам, вызванным электроэнергетическими системами и электрифицированными железнодорожными системами в трубопроводах или металлических конструкциях.

Директивы были созданы, когда число субъектов, вовлеченных в проблему э.м. помех, было достаточно мало. Хотя в некоторых странах либерализация таких областей, как электросвязь, энергетика и транспорт, была проведена уже давно, в большинстве стран существовала только одна компания электросвязи, одна энергетическая компания и одна железнодорожная компания. Решение проблем, связанных с э.м. помехами, осуществлялось лишь небольшим количеством специалистов и имело характер научного исследования. Однако сегодня количество субъектов значительно возросло, и решение проблем э.м. помех должно рассматриваться как обычная проектная деятельность, и для таких субъектов неизбежна потребность в информации и в консультациях.

Директивы содержат чрезвычайно большой объем ценной информации, как для научного, так и для практического уровня проектирования. Поэтому есть потребность предоставлять руководство посредством этой информации преимущественно небольшим компаниям или компаниям, которые впервые столкнулись с проблемой э.м. помех.

На самом деле Директивы не дают ответ на следующие вопросы:

- 1) *кто* является ответственным за э.м. помехи;
- 2) *когда* должна быть выполнена оценка э.м. помех;
- 3) *как* должна производиться подобная оценка.

В Рекомендации МСЭ-Т К.53 определяется ответственность за э.м. помехи (первый из приведенных выше вопросов).

Настоящая Рекомендация посвящена управлению э.м. помехами (последние два вопроса из приведенных выше), в частности, она направлена на определение:

- максимального расстояния между затронутыми объектами для оценки э.м. помех;
- условий (условий установки, эксплуатационного режима, потока энергии и т. д.) для затрагиваемых объектов, к которым относятся управляющие напряжения.

В настоящей Рекомендации исчерпывающим образом рассматриваются все вопросы, связанные с управлением э.м. помехами.

Управление электромагнитными помехами, создаваемыми системам электросвязи со стороны систем энергоснабжения

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации предоставляются критерии, которые определяют подлежащие изучению ситуации и условия установки объектов электроэнергетики, при которых управляющие напряжения применимы к э.м. помехам, вызванным в системе электросвязи следующими энергетическими системами:

- электроэнергетические системы переменного тока;
- электроэнергетические системы постоянного тока;
- электрифицированные тяговые системы переменного тока;
- электрифицированные тяговые системы постоянного тока;

возникающих по причине следующих физических механизмов:

- индуктивная связь;
- гальваническая связь;
- емкостная связь;

для различных условий работы энергетических систем:

- при нормальных условиях;
- в условиях неисправности;

в диапазоне частот от 0 Гц до 9 кГц.

Рассматриваются результирующие эффекты, представляющие:

- опасность для людей;
- повреждения для системы электросвязи;
- нарушение нормальной работы системы электросвязи (неправильное функционирование, шум).

Настоящая Рекомендация применима ко всем линиям электросвязи, которые содержат металлические элементы. Оптоволоконные кабели рассматриваются только в том случае, если в их конструкции содержится металлический проводник, экран или оболочка.

Цель настоящей Рекомендации состоит в том, чтобы установить:

- процедуру для оценки э.м. помех (пункт 4);
- максимальное расстояние между объектами энергоснабжения и электросвязи, на котором должны исследоваться действующие между ними э.м. помехи (пункт 5);
- условия установки (пункт 7) как для объекта энергоснабжения, так и для объекта электросвязи, при которых должны оцениваться воздействия помех (с помощью расчетов, как это описывается в Томах II или III Директив, с помощью измерений либо с помощью подходящей комбинации двух этих методов) с целью проверить соответствие (пункт 8) индуктируемого напряжения на линии электросвязи с соответствующими управляющими напряжениями (пункт 6);
- напоминание о необходимости обеспечить соответствующий мониторинг изменения технических характеристик объектов, ответственных за помехи. Это позволяет избежать ситуации, когда вследствие модификаций допустимая помеха становится недопустимой (пункт 9).

Настоящая Рекомендация применима ко всем ситуациям, в которых частный или общественный объект электросвязи подвергается воздействию со стороны одного или более объектов энергоснабжения.

Настоящая Рекомендация относится к новым объектам электросвязи и к новым объектам энергоснабжения, а также к существующим объектам, на которых предполагается проведение модификаций. К модификациям относится изменение заземления системы, конфигурации линии, рабочего напряжения или тока неисправности (эти модификации также могут быть вызваны и проведением модификаций для объектов, которые подключены к рассматриваемому объекту), что способно привести к значительному повышению существующих уровней э.м. помех.

Настоящая Рекомендация должна использоваться при определении типов связи, которые следует принимать во внимание для различных условий эксплуатации энергетических систем, а также при сравнении предсказанных значений индуцируемого напряжения и управляющих напряжений, которые рассматриваются в пункте 6.

Настоящая Рекомендация не применяется к э.м. помехам, которые вызываются электроэнергетическими системами с номинальным рабочим напряжением ниже 1 кВ.

2 Нормативные справочные документы

В перечисленных ниже Рекомендациях МСЭ-Т и другой справочной литературе содержатся положения, которые посредством ссылок на них в этом тексте составляют основные положения данной Рекомендации. На момент опубликования действовали указанные редакции документов. Все Рекомендации и другая справочная литература являются предметом корректировки, в связи с чем пользователям данной Рекомендации настоятельно рекомендуется изыскать возможность для использования самых последних изданий Рекомендации и справочной литературы, перечисленной ниже. Регулярно публикуется перечень действующих Рекомендаций МСЭ-Т. Ссылка на документ в рамках этой Рекомендации не дает ему, как отдельному документу, статуса Рекомендации.

- [1] IEC 60050-161:1990, *International electrotechnical vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility.*
- [2] ITU-T Directives (1989), *Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Volume VI – Danger and disturbances.*
- [3] ITU-T Recommendation K.10 (1996), *Low frequency interference due to unbalance about earth of telecommunication equipment.*
- [4] IEC 60050-448:1995, *International electrotechnical vocabulary. Chapter 448: Power system protection.*
- [5] IEC/TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects.*
- [6] ITU-T Directives (1989), *Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Volume II – Calculating induced voltages and currents in practical cases.*
- [7] ITU-T Recommendation K.57 (2003), *Protection measures for radio base stations sited on power line towers.*
- [8] prEN 50122-1 (2005), *Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and bonding – Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing.*
- [9] ITU-T Recommendation K.33 (1996), *Limits for people safety related to coupling into telecommunications systems from a.c. electric power and a.c. electrified railway installations in fault conditions.*

3 Определения

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины:

Если не определено в настоящей Рекомендации, то должны применяться определения, приведенные в МЭК 60050-161 и МЭК 60050-448.

3.1 система: общий термин, который охватывает все элементы, части и оборудование данной технологии, которые соединены между собой (электроэнергетическая система, электрифицированная тяговая система, система электросвязи).

3.2 электроэнергетическая система переменного тока: электрическая система, использующая в процессе работы переменный ток (а.с.) и предназначенная для передачи и распределения электрической энергии.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Двухфазные системы энергоснабжения, которые работают на частоте $16\frac{2}{3}$ Гц и предназначены для питания электрифицированных тяговых систем переменного тока, должны рассматриваться как электрифицированные системы энергоснабжения переменного тока даже в том случае, если соответствующие проводники помещены на тех же самых полюсах тяговой линии.

3.3 электроэнергетическая система постоянного тока: электрическая система, использующая в процессе работы постоянный ток (d.c.) и предназначенная для передачи электрической энергии от одной подстанции к другой.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Такие подстанции фактически являются станцией-выпрямителем для преобразования переменного тока в постоянный ток и станцией-инвертором для преобразования постоянного тока в переменный.

3.4 электрифицированные тяговые системы переменного тока: электрическая система, использующая в процессе работы переменный ток (а.с.) и предназначенная для передачи электрической энергии от тяговой подстанции к электрическим поездам: обратная цепь, металлические проводники и/или земля являются составными частями тяговой системы.

3.5 электрифицированные тяговые системы постоянного тока: электрическая система, использующая в процессе работы постоянный ток (d.c.), предназначенная для передачи электрической энергии от тягового выпрямителя к электропоездам: обратная цепь, металлические проводники и/или земля являются составными частями тяговой системы.

3.6 энергетическая система: общее определение, которое в рамках настоящей Рекомендации обозначает как электроэнергетические системы, так и электрифицированные тяговые системы.

3.7 проводная система электросвязи: система, способная передавать информацию между двумя или более пунктами посредством физических связей. Проводные системы электросвязи, которые рассматриваются в данной Рекомендации, используют металлические части (например, металлические пары, кабельные оболочки, армированное оптоволокно и т. д.: сами оптоволоконные линии не способны испытывать влияния физических процессов, которые рассматриваются в данной Рекомендации).

3.8 объект: часть системы, которая вовлечена в проблему э.м. помех с одним или более объектов, относящихся к другим системам:

- объект может представлять собой линию электропередачи, которая соединяет две подстанции или подстанцию (объект энергоснабжения);
- объект может представлять собой тяговую линию, которая соединяет две железнодорожные станции или станцию питания (объект энергоснабжения);
- линия электросвязи, которая соединяет две телефонные станции или же соединяет телефонную станцию и несколько клиентов с помощью одного кабеля, который соединен с телефонной станцией, а затем подразделяется на несколько ответвлений в шкафах (объект электросвязи).

3.9 нормальная работа: рабочий режим любой системы, в котором считается, что отсутствуют какие-либо неисправности. Переходные явления, которые возникают в энергетических системах при переключении, относятся к нормальной работе.

3.10 состояние неисправности (для систем энергоснабжения): непреднамеренное соединение (путем контакта, дугового разряда и т. д.) передающего энергию проводника с землей или с каким-то заземленным металлическим объектом, например, неисправность шунтирующего сопротивления, или же непреднамеренное отключение или обрыв токонесущих проводников (включая путь возврата для тяговых систем), т. е. последовательная неисправность.

Также состояние неисправности включает в себя случаи короткого замыкания между двумя фазами или отключение одной из фаз ("one phase off").

3.11 продолжительность неисправности: продолжительность времени, в течение которого происходит отдельная неисправность.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Продолжительность неисправности шунтирующего сопротивления определяется временем устранения неисправности, которое равно интервалу времени между возникновением неисправности и ее устранением [4].

3.12 эталонная продолжительность неисправности: продолжительность наиболее длительного прерывания тока, осуществляемого соответствующим выключателем(ями) с целью устранения тока неисправности в случае корректной работы оборудования защиты. Когда необходимо также учитывать и замыкания на землю с высоким импедансом, то эталонная продолжительность замыкания на землю связывается с наиболее продолжительным временем прерывания цепи, которое необходимо для устранения как минимум 65% от общего количества замыканий на землю [4].

ПРИМЕЧАНИЕ. – Корректная работа оборудования защиты означает, что инициация сигнала отключения и других команд от оборудования защиты происходит заданным способом в ответ на неисправность системы энергоснабжения или другие отклонения от нормального поведения системы энергоснабжения, а также работу выключателя(ей) в соответствии с сигналом отключения.

3.13 э.м. помеха: электромагнитное явление (объясняемое с помощью трех типов электромагнитной связи), которое объект энергоснабжения может создавать на расположенном поблизости объекте электросвязи и которое может служить источником опасности, повреждения или нарушения нормальной работы для данного объекта электросвязи.

3.14 индуктирующий: прилагательное, которое используется для обозначения объекта, который создает э.м. помеху, а также для описания соответствующих величин (индуктирующая линия, индуктирующий ток, индуктирующее напряжение и т. д.).

3.15 индуктируемый: прилагательное, которое используется для обозначения объекта, на который воздействует э.м. помеха, а также для описания соответствующих величин (индуктируемая линия, индуктируемый ток, индуктируемое напряжение и т. д.).

3.16 индуктивная связь: явление, при котором магнитное поле, вызванное протекающим по линии током (индуктирующий проводник(и)), оказывает влияние на другую линию (индуктируемый проводник(и)), причем величина этой связи характеризуется взаимным импедансом между двумя этими линиями с общим возвратом тока через землю. Ток, который протекает по индуктирующей линии, носит название индуктирующего тока.

3.17 емкостная связь: явление, при котором электрическое поле, вызванное проводящей напряжением линией (индуктирующий проводник(и)), оказывает влияние на другую линию (индуктируемый проводник(и)), причем величина этой связи характеризуется коэффициентами емкости между проводниками, а также между каждым проводником и землей. Напряжение, которое передается по индуктирующему проводнику, носит название индуктирующего напряжения.

3.18 гальваническая связь: явление, при котором ток, протекающий от конструкции проводников (индуктирующий проводник(и)) на землю, оказывает влияние на другую конструкцию проводников (индуктируемый проводник), причем величина воздействия определяется значением электрической проводимости между этими проводниками (конструкциями). Ток, который течет от индуктирующего проводника на землю, является индуктирующим током.

3.19 опасность: эффект от помехи, который может создать угрозу для человека, находящегося в контакте с индуктируемым объектом электросвязи.

3.20 повреждение: эффект от помехи, который вызывает постоянное ухудшение качества обслуживания, которое может быть предложено индуктируемым объектом электросвязи.

ПРИМЕЧАНИЕ. – При исчезновении э.м. помехи повреждение сохраняется. Повреждение требует проведения мероприятий по ремонту.

3.21 нарушение нормальной работы: эффект от помехи, при котором возникает шум или неправильное функционирование при работе индуктируемого объекта электросвязи.

ПРИМЕЧАНИЕ. – При исчезновении э.м. помехи также исчезает и нарушение нормальной работы. Нарушение нормальной работы не требует проведения ремонта.

3.22 шум: тип нарушения нормальной работы, который вызывает ухудшение качества голосовых услуг, предлагаемых индуктируемым объектом электросвязи.

3.23 неправильное функционирование: тип нарушения нормальной работы, который относится к оборудованию, установленному на индуцируемом объекте электросвязи, в результате которого оборудование становится неспособным инициировать или выполнять заявленные производителем функции; или же оно приводит к тому, что возникающее при работе оборудования излучение превосходит установленные при проектировании пределы электромагнитной совместимости.

3.24 расстояние воздействия: расстояние от объекта энергоснабжения, на котором индуктивная, емкостная или гальваническая связь (или же комбинация этих связей) могут вызвать помехи на объекте электросвязи.

ПРИМЕЧАНИЕ. – С теоретической точки зрения расстояние воздействия от объекта энергоснабжения стремится к бесконечности: чем больше становится расстояние, тем слабее результаты воздействия помехи.

3.25 эталонное расстояние воздействия: максимальное расстояние от объекта энергоснабжения, на котором еще следует рассматривать воздействие помех.

ПРИМЕЧАНИЕ. – С практической точки зрения в данной Рекомендации нет необходимости рассматривать расстояния, которые превышают эталонное расстояние воздействия.

3.26 индуцируемая длина: проекция линии электросвязи на линию электропередач или на электрифицированную тяговую линию, началом служит точка, в которой линия электросвязи приближается на расстояние эталонного воздействия (d) к линии электропередач или к электрифицированной тяговой линии, а концом – точка, в которой линия электросвязи выходит за пределы эталонного расстояния воздействия (см. рисунок 1).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Если часть линии или вся линия находится в области воздействия, должно быть исследовано влияние помехи на всю линию.

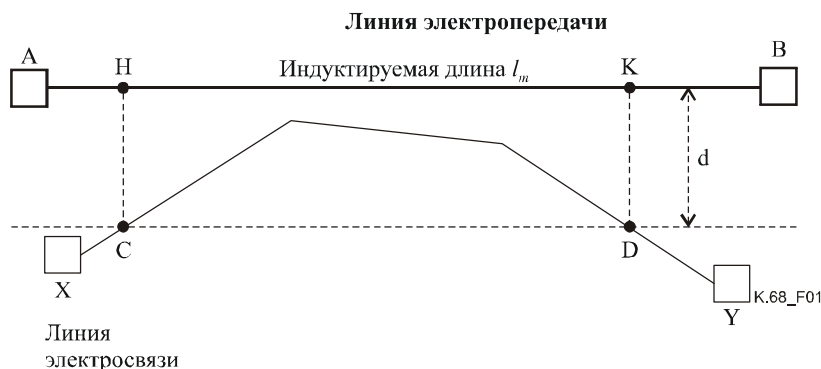


Рисунок 1/К.68 – Индуцируемая длина

3.27 земля: проводящая масса земли, для которой электрический потенциал в любой точке обычно принимается равным нулю (в некоторых странах вместо термина "earth" используется термин "ground").

3.28 индуцированное напряжение: напряжение, которое возникает в индуцируемом объекте электросвязи под влиянием э.м. помех со стороны одного или более индуцирующих объектов.

3.29 индуцируемое синфазное напряжение: индуцируемое напряжение, общее для всех проводников, относящихся к данной группе проводников: эти проводники имеют одинаковые синфазные условия, действующие между этой группой проводников и землей в заданном месте объекта электросвязи (см. рисунок 2).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Наиболее высокое синфазное напряжение обычно возникает на одном из концов проводника, когда второй конец данного проводника заземлен.

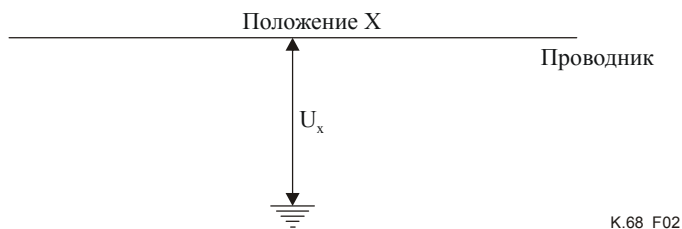
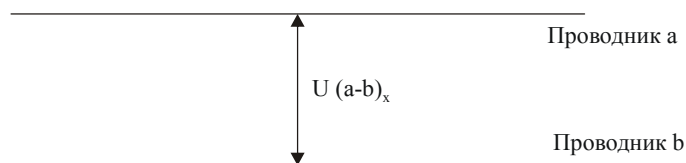


Рисунок 2/К.68 – Индуцируемое синфазное напряжение

3.30 индуцируемое дифференциальное напряжение: напряжение, индуцируемое между любыми двумя заданными наборами металлических проводников в определенном месте объекта электросвязи (см. рисунок 3).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Обычно интерес представляет напряжение, которое возникает между двумя проводниками в симметричной паре. В некоторых случаях важно также напряжение между двумя дифференциальными парами.



K.68_F03

Рисунок 3/К.68 – Индуцируемое дифференциальное напряжение

3.31 эквивалентное сопротивление почвы: удельное сопротивление образца гомогенной почвы, являющегося представителем различных типов слоистых почв, присутствующих в месте расположения рассматриваемых объектов электросвязи или энергоснабжения; данная величина используется при управлении помехами.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Возможно, что на протяжении объекта эквивалентная проводимость почвы будет принимать различные значения.

3.32 психометрическое напряжение или ток: психометрическое напряжение или ток – это напряжение или ток в телефонной линии (синфазное или дифференциальное), U_p или I_p , которое выражается с помощью следующей формулы:

$$U_p = \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (p_f U_f)^2} \text{ [В]} \quad (1a)$$

$$I_p = \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (p_f I_f)^2} \text{ [А]}, \quad (1b)$$

где:

U_f или I_f – компоненты напряжения [В] или тока [А] на частоте f

p_f – весовой коэффициент для данной частоты, который отражает чувствительность уха человека на данной частоте и приводится в таблице весовых коэффициентов, относящейся к спецификации психометра. Таблица в Дополнении I содержит значения p_f для различных частот, при этом значение p_{800} по определению принимается равным 1000.

3.33 сельский район: область, которая отличается низкой плотностью локальных металлических конструкций, находящихся в непосредственном электрическом контакте с почвой.

3.34 городской район: область, которая отличается высокой плотностью локальных металлических конструкций, находящихся в непосредственном электрическом контакте с почвой. К таким конструкциям относятся водопроводные трубы, кабели с оголенными металлическими оболочками, провода заземления из неизолированной меди, трамвайные пути или же подземные/надземные тяговые системы, соединения с землей и конструкции зданий, мачты и фундаменты.

3.35 область действия помех: полный сценарий воздействия помех, относящийся к какому-то отдельному объекту, который должен рассматриваться как единое целое.

Область действия помех для индуцируемого объекта содержит как сам индуцируемый объект, так и все объекты, которые оказывают на него индуцирующее воздействие. Область действия помех для индуцирующего объекта содержит сам этот объект, а также все объекты, на которые он оказывает индуцирующее воздействие.

3.36 результат (воздействия) помехи: электрическая величина, которая может количественно описать воздействие помехи. Результат помехи может быть оценен путем вычислений либо путем измерений.

3.37 эффект (воздействия) помехи: последствия от воздействия помехи для людей, которые прикасаются к индуцируемому объекту, или последствия от воздействия помехи на сам индуцируемый объект или подключенное к нему оборудование.

3.38 помехоустойчивость: способность устройства, оборудования или системы выполнять свои функции без снижения эффективности в присутствии нарушения нормальной работы оборудования, см. 3.21.

3.39 сопротивляемость: способность устройства, оборудования или системы выдерживать, без возникновения повреждений, присутствие какого-то электромагнитного явления вплоть до определенного, указанного предела, в соответствии с заранее заданными критериями.

3.40 управляющее напряжение: общее понятие, которое включает все индуцируемые напряжения, которые должны использоваться при оценке того, является ли ситуация с помехой допустимой, т. е.:

- предельные значения, связанные с опасностью для людей, работающих на данном объекте электросвязи;
- предельное значение, относящееся к шуму;
- минимальный уровень напряжения сопротивляемости для оборудования, подключенного к объекту электросвязи;
- минимальный уровень напряжения, который выдерживает изоляция объекта электросвязи;
- минимальный уровень напряжения помехоустойчивости для оборудования, подключенного к объекту электросвязи.

3.41 типичная ситуация: типичная ситуация для э.м. помехи со стороны энергетических систем характеризуется следующим:

- эксплуатация объекта электросвязи производится обученным и опытным персоналом;
- рабочие условия таковы, что должны рассматриваться только пути распространения тока рука-рука и рука-нога;
- значение допустимого тока приводится в [5] (рисунок 20, кривая c_2).

3.42 тяжелая ситуация: случай, когда оказываются неприменимыми те условия, которые характеризуют типичную ситуацию для э.м. помехи со стороны энергетических систем, считается тяжелой ситуацией. Тяжелая ситуация характеризуется следующим:

- рабочие условия таковы, что должны рассматриваться пути распространения тока рука-рука, рука-нога, рука-грудная клетка и рука-бедро;
- значение импеданса источника принимается равным нулю;
- значение допустимого тока приводится в [5] (рисунок 20, кривая c_1).

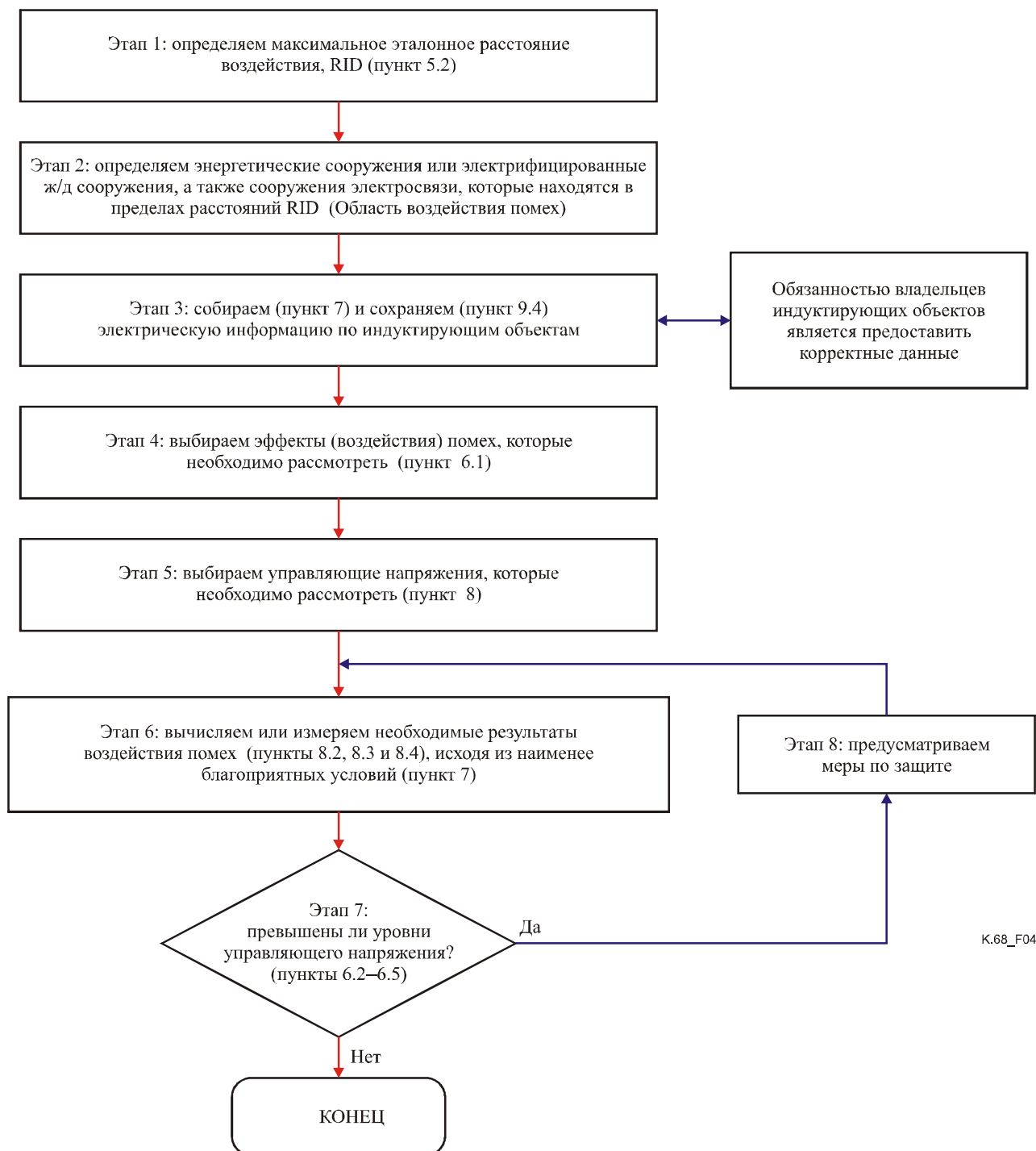
4 Процедура для оценки э.м. помех

4.1 Общие положения

Для оценки того, насколько допустимой является ситуация с помехами, проектировщик должен выполнить действия, которые могут быть разбиты на отдельные этапы (см. рисунок 4).

Следующие разделы содержат рекомендации по выполнению данного процесса¹.

¹ Описываемая процедура относится к проектированию нового объекта электросвязи, при этом необходимо учитывать присутствие существующих объектов энергоснабжения: конечно, возможна и обратная ситуация. В случае проектирования нового индуцирующего объекта процедура остается аналогичной, за исключением некоторых "очевидных" отличий.



K.68_F04

Рисунок 4/К.68 – Диаграмма для процедуры оценки э.м. помех

4.2 Область действия помех

В соответствии с максимальным эталонным расстоянием (см. 5.2) необходимо провести сбор сведений о возможных индуктирующих объектах. Это может производиться путем осмотра и/или с помощью контактов с владельцами подобных объектов, что позволяет также получить информацию об электрической структуре этих объектов. Затем, в зависимости от типа каждого из объектов, необходимо выбрать соответствующий тип связи (см. 5.1) и определить действительные эталонные расстояния воздействия (см. 5.2) для каждого типа связи и для каждого вероятного индуктирующего объекта. В зависимости от действительных эталонных расстояний воздействие со стороны некоторых индуктирующих объектов может игнорироваться. В конце данного этапа становится известной область действия помех для рассматриваемого индуктируемого объекта.

4.3 Сбор электрической информации по индуктирующим объектам

Когда планируется постройка или изменение индуктирующего объекта, то его владелец должен проинформировать об этом владельцев тех объектов, чьи интересы затрагивают такие действия. Подобная информация должна включать электрические характеристики, которые необходимы для описания эталонных условий действия помехи (пункт 7).

На владельцах индуктирующих объектов лежит ответственность по предоставлению корректной информации: таким образом, важно поддерживать архив с соответствующей информацией (см. 9.4).

4.4 Оценка результатов помех и соответствие управляющим напряжениям

4.4.1 Основные принципы

В зависимости от типа индуктируемого объекта и с учетом индуктирующих объектов, находящихся в пределах области действия помех, проектировщик обязан:

- выбрать эффект(ы) от воздействия помех, которые необходимо учитывать в соответствии с 6.1;
- получить результат(ы) от воздействия помех для каждого эффекта, выбранного в качестве предмета рассмотрения на предыдущем этапе в соответствии с 6.1;
- выполнить вычисления или измерения или же использовать разумную комбинацию двух этих методов, для того чтобы оценить необходимые результаты воздействия помехи (в соответствии с пунктами 8.2, 8.3 и 8.4). Ситуации воздействия помех, которые должны быть изучены (неблагоприятные помехи), необходимо выбрать в соответствии с пунктом 7.

4.4.2 Первоначальная оценка

С помощью расчетов или измерений или же с помощью комбинации двух этих методов необходимо оценить соответствие управляющим напряжениям (пункты 6.2, 6.3, 6.4 и 6.5) для индуктируемого объекта, который находится в своей базовой конфигурации, заданной при проектировании (см. 8.1).

Если ситуация с помехой является допустимой, то не следует предпринимать никаких дальнейших действий по проектированию.

Если ситуация с помехой не является допустимой, то следует принимать меры по противодействию помехе.

4.4.3 Проектирование мер по противодействию: последовательные оценки

Проектировщик должен выбрать возможные меры по противодействию, а также с помощью оценки, измерений или же с помощью комбинации этих методов определить, какие именно меры по противодействию наиболее подходят для данного индуктируемого объекта.

Какие именно меры должны предприниматься и должны ли они предприниматься на индуктирующей или на индуктируемой системе – это определяется типом и величиной помехи, стоимостью осуществления мер по противодействию, а также тем, существует ли уже данная система или же она еще находится в стадии проектирования. Как в случае любых действий по проектированию, наилучшее решение представляет собой разумный компромисс между техническими и экономическими требованиями.

Проектировщик должен осуществлять подобные действия чрезвычайно тщательно.

Проектировщик должен понимать, что меры по противодействию, которые способны уменьшить результаты воздействия помех в одной части индуктируемого объекта (например, в месте заземления на одном конце объекта), могут приводить к их повышению в других частях объекта (например, на противоположном конце объекта): таким образом, важно рассмотреть различные конфигурации воздействия помехи.

Проектировщик также должен учитывать, что меры по противодействию, которые могут решить ситуацию с недопустимой помехой, создаваемой каким-то индуктирующим объектом, в то же время могут превратить допустимую ситуацию с помехой, созданной другим индуктирующим объектом, в недопустимую. Это означает, что следует с достаточной точностью рассматривать все объекты, входящие в данную область действия помех.

ПРИМЕЧАНИЕ. – За исключением гальванической связи на подстанциях, в общем случае предполагается, что ситуация будет являться допустимой тогда, когда индуктируемая линия является проводником в кабеле с заземленной металлической оболочкой/экраном, оснащена на обоих концах устройствами молниезащиты и при этом используются специальные меры предосторожности, которые препятствуют протеканию через тело недопустимых токов.

5 Ситуации с помехами, которые должны быть изучены

5.1 Типы связи, которые должны быть рассмотрены

5.1.1 Стадия планирования

В показанных ниже таблицах 1, 2 и 3 определяются типы связи, требующие изучения (путем расчетов или измерений) перед тем, как вводить новый объект в эксплуатацию.

Таблица 1 относится к условиям единичного замыкания на землю и учитывает тот факт, что ток замыкания для изолированных и резонансных систем заземления имеет малую величину.

Гальваническая связь рассматривается только в тех областях, где системы электросвязи входят в зону EPR (повышения потенциала земли) силовой сети заземления.

Таблица 1/К.68 – Типы связи, которые должны быть рассмотрены, для объектов энергоснабжения при различных условиях замыкания на землю – стадия планирования

Тип объекта энергоснабжения		Тип объекта электросвязи		
		Надземный кабель		Подземный кабель
		Без металлической оболочки	С металлической оболочкой, которая соединена с землей	
2- и 3-фазные надземные электроэнергетические системы переменного тока	Нейтраль заземлена непосредственно или через небольшой импеданс	индуктивная гальваническая	индуктивная гальваническая	индуктивная гальваническая
	Нейтраль изолирована или используется резонансное заземление	нет	нет	нет
2- и 3-фазные электрические кабельные системы переменного тока	Нейтраль заземлена непосредственно или через небольшой импеданс	индуктивная гальваническая	индуктивная гальваническая	индуктивная гальваническая
	Нейтраль не заземляется непосредственно	нет	нет	нет
Электроэнергетическая система постоянного тока		нет	нет	нет
Электрифицированная тяговая система переменного тока		индуктивная гальваническая	индуктивная гальваническая	индуктивная гальваническая
Электрифицированная тяговая система постоянного тока		нет	нет	нет

Таблица 2/К.68 – Типы связи, которые должны быть рассмотрены, для объектов энергоснабжения при нормальных условиях работы, способные вызывать опасность для людей или повреждения для объекта электросвязи – стадия планирования

Тип объекта энергоснабжения		Тип объекта электросвязи		
		Наземный кабель		Подземный кабель
		Без металлической оболочки	С металлической оболочкой, которая соединена с землей	
3-фазная надземная электроэнергетическая система переменного тока	все типы заземления нейтрали	индуктивная емкостная	индуктивная	индуктивная
3-фазная кабельная электрическая система переменного тока	все типы заземления нейтрали	нет	нет	нет
Электроэнергетическая система постоянного тока		нет	нет	нет
Электрифицированная тяговая система переменного тока		индуктивная	индуктивная гальваническая	индуктивная гальваническая
Электрифицированная тяговая система постоянного тока		нет	гальваническая	гальваническая

Таблица 3/К.68 – Типы связи, которые должны быть рассмотрены, для объектов энергоснабжения при нормальных условиях работы, способные вызывать нарушение нормальной работы объекта электросвязи – стадия планирования

Тип объекта энергоснабжения		Тип объекта электросвязи		
		Наземный кабель		Подземный кабель
		Без металлической оболочки	С металлической оболочкой, которая соединена с землей	
3-фазная надземная электроэнергетическая система переменного тока	все типы заземления нейтрали	индуктивная	индуктивная	индуктивная
3-фазная кабельная электрическая система переменного тока	все типы заземления нейтрали	нет	нет	нет
Электроэнергетическая система постоянного тока		нет	нет	нет
Электрифицированная тяговая система переменного тока		индуктивная	индуктивная гальваническая	индуктивная гальваническая
Электрифицированная тяговая система постоянного тока		нет	нет	нет

5.1.2 Стадия эксплуатации

Все типы связи, отличающиеся от приведенных в таблицах 1, 2 и 3, обычно не приводят к возникновению опасных ситуаций, повреждению или нарушению нормальной работы оборудования, таким образом, требуется проводить вычисления или измерения только при появлении эффекта от помехи.

5.2 Эталонное расстояние воздействия

5.2.1 Общее

Объекты энергоснабжения, расстояние до которых от рассматриваемого объекта электросвязи меньше или равно эталонному расстоянию воздействия (reference influence distance, RID), должны рассматриваться как индуцирующие объекты для данного объекта электросвязи. Это позволяет установить область действия помех для индуцируемого объекта электросвязи.

Объекты электросвязи, расстояние от которых до данного объекта энергоснабжения меньше или равно эталонному расстоянию воздействия (RID), должны рассматриваться как индуцируемые объекты для данного объекта энергоснабжения. Это позволяет определить область действия помех для индуцирующего объекта энергоснабжения.

Целью использования расстояния RID является ограничение количества индуцирующих объектов, которые должны быть рассмотрены и для которых важно определить значения индуцирующего тока/напряжения.

В настоящей Рекомендации предлагаются значения расстояния RID, которые будут подробно рассмотрены в следующих пунктах: для их оценки использовался метод, который описывается в Приложении А. Также использовались допущения, описываемые в Дополнении II, которые основываются на предположении наименее благоприятных условий, создаваемых при неисправности линий электропередач и при нормальных условиях работы электрических тяговых линий (значения, которые приводятся в таблицах, относятся к наименее благоприятному случаю, что дает более высокие значения для расстояния RID). Однако в каждой стране могут определяться и другие значения, например, национальным комитетом или уполномоченным органом, или же они должны быть согласованы затронутыми сторонами с помощью метода, который приводится в Приложении А и который для большего соответствия национальным требованиям предлагает различные значения для затрагиваемых параметров с учетом значений, показанных в II.2. Диапазон значений для этих параметров описывается в II.1.

Практической целью использования RID является предоставить информацию о том, для каких именно объектов необходимо затребовать информацию об электрических характеристиках от администрации объекта электроэнергетики/электросвязи/тяговой сети или же от сетевого оператора. Тем не менее концепция RID не устраняет ответственность для тех участвующих сторон, которые создают помехи на расстоянии, превышающем значения RID.

Расстояние RID должно измеряться от точки проекции на землю центральной точки линии электропередач.

5.2.2 Индуктивная связь

5.2.2.1 Состояние неисправности

5.2.2.1.1 Линия электропередач переменного тока

Приводимые в таблице 4 значения RID для типичных ситуаций и приводимые в таблице 5 значения RID для тяжелых ситуаций относятся к частоте $f = 50/60$ Гц.

Данные таблицы содержат значения расстояния RID для незэкранированных коротких (например, сетей доступа) или длинных линий электросвязи в виде функции от эквивалентного сопротивления почвы, для надземных и для подземных линий электропередач переменного тока с непосредственно заземленной нейтралью, как для сельских, так и для городских районов.

Таблица 4/К.68 – Значения RID для систем энергоснабжения переменного тока с частотой 50/60 Гц в типичных ситуациях

Протяженность системы электросвязи	Эквивалентное сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]			
		Система энергоснабжения/окружение			
		Надземная		Подземная	
		Сельский	Городской	Сельский	Городской
Короткая линия	50	550	70	Прим.	Прим.
	500	1 700	100	Прим.	
	5 000	5 400	100	300	
Длинная линия	50	1 200	500	300	20
	500	3 700	1 200	1 000	
	5 000	12 000	2 400	3 100	
ПРИМЕЧАНИЕ. – Помеха отсутствует.					

Таблица 5/К.68 – Значения RID для систем энергоснабжения переменного тока с частотой 50/60 Гц в тяжелых ситуациях

Протяженность линии электропередачи	Эквивалентное сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]			
		Система энергоснабжения/окружение			
		Надземная		Подземная	
		Сельский	Городской	Сельский	Городской
Короткая линия	50	1 000	400	250	Прим.
	500	3 300	800	750	
	5 000	10 000	1 450	2 400	
Длинная линия	50	1 800	1 050	750	200
	500	5 800	2 600	2 400	400
	5 000	18 000	6 500	7 500	600
ПРИМЕЧАНИЕ. – Помеха отсутствует.					

Линия электропередач переменного тока, которая в общем случае не имеет непосредственно заземленной нейтрали, в обычных условиях не создает помехи для линии электропередачи (помехи могут возникать только в исключительных случаях, см. II.1). В сложных ситуациях только надземные линии электропередач переменного тока, расположенные в сельских районах, способны вызывать помехи для тех линий электропередачи, которые имеют большую протяженность. В этом случае должны использоваться следующие значения расстояния RID:

- 30 м для $\Omega = 50$ рм;
- 100 м для $\Omega = 500$ рм;
- 300 м для $\Omega = 5\,000$ рм.

Значения RID, которые приводятся в таблице 6 как для типичных, так и для сложных ситуаций, должны применяться к электроэнергетическим двухфазным объектам переменного тока с частотой $f = 16\frac{2}{3}$ Гц.

В таблице 6 приводятся значения RID для неэкранированных коротких (например, сетей доступа) или длинных линий электропередачи в виде функции эквивалентного электрического сопротивления почвы для надземных линий переменного тока в сельских районах.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Предполагается, что подземная линия энергоснабжения является экранированной линией. Если экран с изолирующей пластмассовой оболочкой соединяется с землей только в одной точке, то такая подземная линия должна рассматриваться как надземная (воздушная).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Линия электропередач переменного тока является "надземной" линией в сельских районах, в то время как в городских районах устанавливаются исключительно подземные линии.

Таблица 6/К.68 – Значения RID для электроэнергетических двухфазных систем переменного тока с частотой $16\frac{2}{3}$ Гц для типичных/сложных ситуаций

Система энергоснабжения/окружение	Эквивалентное сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]			
		Система электропередачи			
		Типичная ситуация		Сложная ситуация	
		Короткая линия	Длинная линия	Короткая линия	Длинная линия
Надземная/сельская	50	100	700	800	1 800
	500	300	2 200	2 500	5 800
	5 000	1 000	7 000	8 000	18 000

5.2.2.1.2 Электроэнергетическая линия постоянного тока

В процессе изучения.

5.2.2.2 Нормальная работа

5.2.2.2.1 Электрифицированная тяговая линия переменного тока

5.2.2.2.1.1 Значения RID для индукции основной частоты

В таблице 7 приводятся значения RID для частоты 50/60 Гц, в таблице 8 для частоты 16 $\frac{2}{3}$ Гц, которые относятся к электрифицированным тяговым линиям переменного тока с системой питания, использующей простой возврат по рельсам и земле (RR), для типичных и тяжелых ситуаций.

В таблице 9 приводятся значения RID для частоты 50/60 Гц, в таблице 10 для частоты 16 $\frac{2}{3}$ Гц, которые относятся к электрифицированным тяговым линиям переменного тока со специальной системой питания, использующей автотрансформатор (АТ) или повышающий трансформатор (ВТ), для типичных и тяжелых ситуаций.

Данные таблицы содержат значения расстояния RID для незранированных коротких (например, сети доступа) или длинных линий электросвязи, которые представлены в виде функции от эквивалентного удельного сопротивления почвы, для надземных (воздушных) и подземных линий переменного тока как для сельских, так и для городских районов.

Таблица 7/К.68 – Значения RID для тяговых линий переменного тока с системой питания с частотой 50/60 Гц, использующей простой возврат по рельсам (RR), для типичных и сложных ситуаций

Система энергоснабжения/окружение	Эквивалентное сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]	
		Система электросвязи	
		Короткая линия	Длинная линия
Надземная/сельский район	50	700	1 350
	500	2 200	4 300
	5 000	7 000	13 500
Надземная/городской район	50	140	600
	500	250	1 600
	5 000	300	3 500

Таблица 8/К.68 – Значения RID для тяговых линий переменного тока с системой питания с частотой 16 $\frac{2}{3}$ Гц, использующей простой возврат по рельсам (RR), для типичных и сложных ситуаций

Система энергоснабжения/окружение	Эквивалентное сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]	
		Система электросвязи	
		Короткая линия	Длинная линия
Надземная/сельский район	50	450	1 400
	500	1 400	4 300
	5 000	4 500	13 500
Надземная/городской район	50	15	400
	500		800
	5 000		1 200

Таблица 9/К.68 – Значения RID для тяговой линии переменного тока, которая использует специальную систему питания (автотрансформаторную или с повышающим трансформатором) с частотой 50/60 Гц, для типичных и сложных ситуаций

Система энергоснабжения/ окружение	Эквивалентное сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]	
		Система электросвязи	
		Короткая линия	Длинная линия
Надземная/ сельский район	50	160	600
	500	500	2 000
	5000	1 000	2 800
Надземная/ городской район	50	Примечание	130
	500		240
	5 000		300
ПРИМЕЧАНИЕ. – Помеха отсутствует.			

Таблица 10/К.68 – Значения RID для тяговой линии переменного тока, которая использует специальную систему питания (автотрансформаторную или с повышающим трансформатором) с частотой 16 $\frac{2}{3}$ Гц, для типичных и сложных ситуаций

Система энергоснабжения/окружение	Эквивалентное сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]	
		Система электросвязи	
		Короткая линия	Длинная линия
Надземная/сельский район	50	10	280
	500	30	900
	5 000	500	5 000
Надземная/городской район	50	Примечание	Примечание
	500		
	5 000		
ПРИМЕЧАНИЕ. – Помеха отсутствует.			

5.2.2.2.1.2 Значения RID для индукции на психофизической частоте

Значения RID, которые вычисляются для электропоездов с частотными инверторами (преобразователями) и асинхронными электродвигателями, имеют меньшие значения по сравнению со значениями, относящимися к частоте питающей сети. Значения RID, которые вычисляются для диодных (тиристорных) локомотивов с фильтром или же для диодных локомотивов без фильтра, которые используют тиристорное управление, приводятся в таблицах 11 и 12 соответственно как для типичных, так и для сложных ситуаций. Эти значения RID превышают соответствующие значения, относящиеся к фундаментальной частоте питающей сети.

Таблица 11/К.68 – Значения RID для психофотометрической индукции для тяговых линий переменного тока с диодными (тиристорными) локомотивами, оснащенными фильтрами на 50/60 Гц, для типичных и сложных ситуаций

Система энергоснабжения/окружение	Эквивалентное сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]	
		Система электросвязи	
		Короткая линия	Длинная линия
Надземная/сельский район	50	940	Не имеет отношения
	500	3 000	
	5 000	9 400	
Надземная/городской район	50	650	
	500	1 800	
	5 000	5 300	

Таблица 12/К.68 – Значения RID для психофотометрической индукции для тяговых линий переменного тока частотой 50/60 Гц со смешанным тиристорным управлением и диодными локомотивами, которые не используют фильтр, для типичных и сложных ситуаций

Система энергоснабжения/окружение	Эквивалентное сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]	
		Система электросвязи	
		Короткая линия	Длинная линия
Надземная/сельский район	50	1 900	Не имеет отношения
	500	6 000	
	5 000	19 000	
Надземная/городской район	50	1 250	
	500	3 500	
	5 000	9 400	

5.2.2.2.2 Электрфицированная тяговая линия постоянного тока

В процессе изучения.

5.2.3 Емкостная связь

В данном случае эталонное расстояние воздействия должно составлять 100 м только в том случае, если как индуктируемая, так и индуктирующая линии являются наземными и неэкранированными. Во всех остальных случаях емкостной связью можно пренебречь.

5.2.4 Индуктивная связь

При вычислении значения RID для индуктивной связи необходимо учитывать удельное электрическое сопротивление поверхностного слоя почвы, в котором располагается система (сеть) электродов заземления.

5.2.4.1 Сеть заземления подстанции

Значения расстояния RID, представленные в таблице 13 для типичных ситуаций и в таблице 14 для сложных ситуаций, относятся к частоте $f = 50/60$ Гц.

Эти таблицы приводят значения RID для неэкранированных коротких (например, сетей доступа) или длинных линий электросвязи в виде функции от эквивалентного электрического сопротивления почвы, для надземных, смешанных и подземных линий электропередач переменного тока в сельских и городских районах, которые используют непосредственное заземление нейтрали.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Маловероятно, что подстанция будет располагаться в районе с очень высоким сопротивлением почвы, таким образом, значения расстояния RID, которые приводятся для сопротивления 5000 Ом·м, вряд ли найдут практическое применение. Предполагается, что значение 500 Ом·м вполне описывает диапазон проводимости между 150 Ом·м и 1500 Ом·м, как это указывается в таблице II.1.

Таблица 13/К.68 – Значения RID для систем энергоснабжения переменного тока с частотой 50/60 Гц для типичных ситуаций (гальваническая связь через сеть заземления подстанции)

Размер сети (заземления) подстанции [м ²]	Сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]					
		Система энергоснабжения/окружение					
		Надземная		Смешанная		Подземная	
		Сельский	Городской	Сельский	Городской	Сельский	Городской
225 (15 м × 15 м)	50	40	15	10	Прим.	Прим.	Прим.
	500	450	150	200	60	90	30
	5 000	4 700	1 150	1 900	450	900	200
2 500 (50 м × 50 м)	50	50	10	5	Прим.	Прим.	Прим.
	500	700	200	250	75	120	30
	5 000	7 000	1 700	2 800	680	1 400	300
22 500 (150 м × 150 м)	50	30	Прим.	Прим.	Прим.	Прим.	Прим.
	500	850	250	300	60	120	2
	5 000	9 300	2 200	3 700	850	1 800	400
ПРИМЕЧАНИЕ. – Помеха отсутствует.							

Таблица 14/К.68 – Значения RID для систем энергоснабжения переменного тока с частотой 50/60 Гц для тяжелых ситуаций (гальваническая связь через сеть заземления подстанции)

Размер сети (заземления) подстанции [м ²]	Сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]					
		Система энергоснабжения/окружение					
		Надземная		Смешанная		Подземная	
		Сельский	Городской	Сельский	Городской	Сельский	Городской
225 (15 м × 15 м)	50	100	40	40	10	15	Прим.
	500	1 100	400	430	150	200	70
	5 000	11 000	2 700	4 300	1 000	2 200	500
2 500 (50 м × 50 м)	50	140	50	40	5	10	Прим.
	500	1 600	500	600	200	300	90
	5 000	16 400	4 000	6 500	1 600	3 200	800
22 500 (150 м × 150 м)	50	150	30	20	Прим.	Прим.	Прим.
	500	2 100	700	800	200	350	80
	5 000	21 800	5 400	8 600	2 100	4 300	1 000
ПРИМЕЧАНИЕ. – Помеха отсутствует.							

5.2.4.2 Заземление опоры ЛЭП

В таблице 15 приводятся значения RID для типичных ситуаций, в таблице 16 – для тяжелых ситуаций, все они относятся к частоте $f = 50/60$ Гц.

В этих таблицах содержатся значения расстояния RID для неэкранированной короткой (например, сеть доступа) или длинной линии электропередачи в виде функции от эквивалентного сопротивления почвы, для надземных линий электропередач с непосредственным заземлением нейтрали, для сельских и городских районов.

Если в результате измерений были получены значения, которые отличаются от значений, приведенных в таблицах 15 и 16, то следует использовать результаты измерений.

Таблица 15/К.68 – Значения RID для систем энергоснабжения переменного тока с частотой 50/60 Гц для типичных ситуаций (гальваническая связь через опору ЛЭП)

Конфигурация грозозащитного троса	Сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]	
		Система энергоснабжения/окружение	
		Надземная/сельский	Надземная/городской
1 трос	50	15	6
	500	25	8
	5 000	30	8
2 троса	50	10	4
	500	15	6
	5 000	20	5
1 трос + противовес	50	3	1
	500	7	2
	5 000	15	3

Таблица 16/К.68 – Значения RID для систем энергоснабжения переменного тока с частотой 50/60 Гц для сложных ситуаций (гальваническая связь через опору ЛЭП)

Конфигурация грозозащитного троса	Сопротивление почвы [Ом·м]	Расстояние RID [м]	
		Система энергоснабжения/окружение	
		Надземная/сельский	Надземная/городской
1 трос	50	30	15
	500	55	30
	5 000	80	30
2 троса	50	20	10
	500	40	15
	5 000	50	15
1 трос + противовес	50	6	3
	500	15	5
	5 000	30	7

5.2.4.3 Электрифицированные тяговые системы переменного тока

Значение расстояния RID составляет 5 м как для типических, так и для тяжелых ситуаций.

6 Управляющие напряжения

6.1 Критерии, которые определяют область применения управляющих напряжений

Эффекты, которые должны быть рассмотрены, а также результаты воздействия э.м. помех, которые должны быть оценены для того, чтобы определить воздействие электромагнитных помех в наименее благоприятных ситуациях, приводятся в таблице 17: соответствующие управляющие напряжения приводятся в пунктах 6.2, 6.3, 6.4 и 6.5.

Таблица 17/К.68 – Эффекты, должны быть рассмотрены, и соответствующие результаты

Эффекты для индуцируемого объекта	Индуктирующий объект	Следует ли рассматривать данный эффект?	Воздействие помехи
Опасность	при нормальной работе	да	напряжение на землю
	в случае неисправности	да	напряжение на землю
Повреждение	при нормальной работе	да	напряжение на землю
	в случае неисправности	да	напряжение на землю
Нарушение нормальной работы	при нормальной работе	да	напряжение между двумя проводами в паре
	в случае неисправности	нет	-----

6.2 Опасные напряжения: предельные значения

6.2.1 Общие данные

В данном пункте приводятся значения и продолжительности воздействия индуцированного напряжения на объект электросвязи со стороны расположенного поблизости объекта электроснабжения переменного тока или электрифицированного тягового объекта (работающих в нормальном режиме или в режиме неисправности), которые разрешается оказывать операторам энергетического объекта или тяговой сети путем любого из видов электромагнитной связи, не причиняя при этом опасности для людей, работающих на данном объекте электросвязи.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Клиенты услуг электросвязи не должны прикасаться к каким-либо металлическим элементам сети электросвязи (см. Рекомендацию МСЭ-Т К.50).

6.2.2 Состояние неисправности

Предельные значения индуцируемого синфазного напряжения, которые рассматриваются по отношению к земле, для любой точки объекта электросвязи приводятся в таблице 18 (для типичных ситуаций) и в таблице 19 (для тяжелых ситуаций).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Различные предельные значения могут быть вычислены согласно Рекомендации МСЭ-Т К.33.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Том VI Директив объясняет те соображения, на основании которых определялись значения в этих таблицах.

Таблица 18/К.68 – Предельные значения, определяющие опасные воздействия в случае э.м. помех, создаваемых объектами энергоснабжения переменного тока, которые находятся в неисправном состоянии: типичные ситуации

Эталонная продолжительность неисправности t [с]	Эффективное индуцируемое значение [В]
$t \leq 0,10$	2 000
$0,10 < t \leq 0,20$	1 500
$0,20 < t \leq 0,35$	1 000
$0,35 < t \leq 0,50$	650
$0,50 < t \leq 1,00$	430
$1,00 < t \leq 3,00$	150
$3,00 < t$	60

Таблица 19/К.68 – Предельные значения, определяющие опасные значения в случае э.м. помех, создаваемых объектами энергоснабжения переменного тока, которые находятся в неисправном состоянии: тяжелые ситуации

Эталонная продолжительность неисправности t [с]	Эффективное индуцируемое значение, общее [В]	Эффективное индуцируемое значение, не рассматриваются ситуации, когда ток проходит через грудную клетку или бедро [В]
$t \leq 0,06$	430	650
$0,06 < t \leq 0,1$	430	430
$0,1 < t \leq 1,0$	300	300
$t > 1,0$	60	60

При неисправностях систем энергоснабжения постоянного тока индуцированное в переходном состоянии синфазное напряжение по отношению к земле в любой точке индуцируемого объекта электросвязи не должно превышать пиковые значения, которые приводятся в таблице 18 (типичные условия) и таблице 19 (тяжелые условия).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Защита от опасности обеспечивается в том случае, если индуцируемая линия является проводником в кабеле с заземленной металлической оболочкой или экраном, а все проводники на обоих концах оснащены устройствами молниезащиты, оболочка заземлена на предписанных расстояниях и предприняты специальные меры предосторожности, которые не позволяют току протекать через тело человека.

6.2.3 Нормальный режим работы

Предельное значение индуцированного синфазного напряжения по отношению к земле составляет 60 В (эффективное значение) для любой точки индуцируемого объекта электросвязи, при этом считается, что оно создается всеми индуцирующими объектами энергоснабжения, которые относятся к рассматриваемой области действия помех и которые работают в нормальных условиях эксплуатации.

6.3 Напряжения повреждения

В данном пункте приводятся значения и продолжительности индуцированного напряжения для объекта электросвязи, возникающего под влиянием расположенных поблизости тяговых объектов или объектов энергоснабжения, работающих в нормальном режиме и в режиме неисправности, которое операторы энергетических и тяговых объектов могут оказывать с помощью любого из типов электромагнитной связи на индуцируемый объект электросвязи без того, чтобы нести ответственность за меры по противодействию повреждению для изоляции и/или оборудования объекта электросвязи.

Значения индуцируемого синфазного напряжения, которое измеряется по отношению к земле для любой точки индуцируемого объекта электросвязи, рассматриваются как способные нанести повреждение при состоянии неисправности объекта энергоснабжения, если они равны:

- 1) значениям, приводимым в таблице 20, которые представляют собой минимальные уровни защищенности для оборудования, подключенного к объекту электросвязи;
- 2) эффективному напряжению 1000 В, являющемуся минимальным напряжением, которое должна выдерживать изоляция объектов электросвязи, использующих симметричные кабели с проводниками с бумажной изоляцией, независимо от эталонной продолжительности неисправности;
- 3) эффективному напряжению 2000 В, представляющему собой минимальное напряжение, которое должна выдерживать изоляция для объектов электросвязи, которые используют коаксиальные кабели, независимо от эталонной продолжительности неисправности;
- 4) эффективному напряжению 2000 В, представляющему собой минимальное напряжение, которое должна выдерживать изоляция для объектов электросвязи, которые используют оптоволоконные кабели, содержащие металлические части, независимо от эталонной продолжительности неисправности.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Защита от повреждения изоляции и/или оборудования объекта электросвязи обеспечивается в том случае, если индуцируемая линия является проводником в кабеле с заземленным металлическим экраном или оболочкой и все проводники оборудованы на обоих концах устройствами молниезащиты.

Таблица 20/К.68 – Минимальный уровень сопротивляемости оборудования, подключенного к объектам электросвязи, в виде функции от продолжительности неисправности на электроэнергетических объектах переменного тока

Эталонная продолжительность неисправности t [с]	Эффективное индуцированное напряжение [В]
$t \leq 0,20$	1030
$0,20 < t \leq 0,35$	780
$0,35 < t \leq 0,50$	650
$0,50 < t \leq 1,0$	430
$1,0 < t \leq 2,0$	300
$2,0 < t \leq 3,0$	250
$3,0 < t \leq 5,0$	200
$5,0 < t \leq 10,0$	150
$t > 10,0$	60

6.4 Напряжения помехоустойчивости

Значения индуцированного напряжения, которое создают все индуцирующие объекты энергоснабжения в данной области действия помех при работе в нормальных условиях эксплуатации и которые могут привести к неправильному функционированию оборудования, подключенного к объекту электросвязи, равны:

- эффективному напряжению 60 В для индуцируемого синфазного напряжения по отношению к земле в любой точке индуцируемого объекта электросвязи;
- эффективному напряжению 60 В для индуцированного напряжения между любыми двумя металлическими частями, расположенными в одном месте, в любой точке индуцируемого объекта электросвязи.

6.5 Напряжение шума: предельные значения

Предельное значение индуцируемого психометрического напряжения между двумя проводами для одной пары индуцируемого объекта электросвязи, возникающее в результате воздействия всех индуцирующих энергетических объектов, работающих в нормальных условиях эксплуатации в данной области действия помех, способное ухудшить качество голосовых услуг, которые могут предлагаться индуцируемым объектом электросвязи, составляет 0,5 мВ для любого окончательного устройства индуцируемого объекта электросвязи.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения потерь разбалансировки, которые определяются в пункте 6 Рекомендации К.10, приводят к разрешенному индуцируемому значению психофизического продольного напряжения, которое может составлять 200 мВ для любого оконечного устройства линии электросвязи.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В случае э.м. помехи со стороны тяговых систем, если индуцируемое психофизическое напряжение превосходит предельное значение шума, указанное в данном пункте, однако его значение остается меньше чем 2,5 мВ, то шум является приемлемым в том случае, если для любого интервала времени с продолжительностью до одной минуты сумма произведений значений психофизического напряжения с величиной более 0,5 мВ для соответствующей продолжительности времени меньше или равна 30 мВ.

7 Эталонные условия помехи

7.1 Общие сведения

Значения управляющего напряжения, которые приводятся в пункте 6, относятся к условиям воздействия помех, которые одновременно должны являться реалистичными (вероятность таких условий не должна быть слишком мала) и в то же время являться наиболее неблагоприятными.

Если рассматривать индуцирующий объект, то в качестве эталонного условия (воздействия) помехи обычно выбираются такое, которое представлено наибольшими значениями индуцирующих параметров (ток, напряжение, протяженность мест сближения и т. д.).

Учитывая все вышесказанное, настоящая Рекомендация может привести только набор основных указаний по эталонным условиям помехи: это особенно верно для сложных объектов (например, электрифицированный тяговый объект переменного тока, использующий автотрансформаторы или повышающие трансформаторы). Так как в таких условиях затрагивается большое количество параметров, то в большинстве случаев нельзя априори определить наименее благоприятные условия: наименее благоприятная ситуация для индуцируемого объекта не обязательно связана с максимальным значением индуцируемого напряжения, она может характеризоваться площадью индуцируемого объекта, на которой возникают индуцируемые напряжения с недопустимым уровнем.

Задачей проектировщика является проверить различные условия (воздействия) помех с целью затем оценить наименее благоприятные после изучения полного набора результатов (воздействия) помех.

Если рассматривать индуцируемый объект, то эталонным условием (воздействия) помехи является такое условие, которое представлено наиболее защищенной конфигурацией в соответствии с данными проектирования.

Разбаланс объекта электросвязи должен соответствовать требованиям Рекомендации МСЭ-Т К. 10 [3].

7.2 Условия, относящиеся к индуцирующему объекту

7.2.1 Электроэнергетическая система переменного тока

7.2.1.1 Состояние неисправности

Неисправность, которая должна быть рассмотрена, представляет собой замыкание фазы на землю.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти значения относятся к переходным токам короткого замыкания между фазой и землей. Также необходимо рассматривать и первый сверхпереходный пик, например, на подстанции генерирующей станции.

Значение тока неисправности должно быть предоставлено эксплуатирующим органом, которое отвечает за данный электроэнергетический объект переменного тока. Значение тока должен принимать в расчет запланированные повышения уровня тока неисправности для данного объекта.

Ток замыкания на землю должен быть предоставлен для всех точек на протяжении индуцирующего объекта, включая подстанции, т. к. все эти точки для индуцирующей линии являются возможными местами возникновения неисправности.

Значения тока при неисправности должны быть представлены в виде диаграмм, выражений либо таблиц для значений реального индуцирующего тока с учетом эффекта ослабления, например, под влиянием заземленных верхних проводов.

Эталонная продолжительность воздействия должна быть представлена энергетической компанией на основании заданных настроек для защитных реле или на основании статистических данных о неисправностях, которые относятся к рассматриваемому объекту.

7.2.1.1.1 Гальваническая связь

Напряжения, которые возникают в системе электросвязи под влиянием гальванической связи с подстанцией, должны быть измерены, т. к. они отличаются большим локальным разбросом значений.

Измерения проводятся с помощью тестового генератора, который создает ток в несколько десятков ампер. Предпочтительно использовать частоту, которая отличается от основной частоты и имеет значение на 5–10 Гц ниже. При помощи частотно-селективного вольтметра вы сможете устранить в результатах измерений влияние основной частоты. Значение тока, которое приводит к возникновению повышения потенциала земли (EPR), представляет собой ток, который протекает через сеть заземления подстанции, и этот ток является только частью полного тока, возникающего при неисправности.

Эталонные напряжения помех получают путем умножения результатов тестовых измерений на соотношение (ток через сеть заземления)/(тестовый ток).

Напряжения, которые возникают в системе электросвязи под влиянием гальванической связи с подстанцией, могут быть рассчитаны, если известны параметры сети заземления подстанции и тока заземления. Если же эти параметры неизвестны или же подстанция располагается в городском районе, или же почва поблизости от подстанции имеет существенные неоднородности, то необходимо выполнить измерение данных напряжений.

Токовый зонд, относящийся к тестовому генератору, должен размещаться на достаточно удаленном расстоянии от подстанции с целью избежать значимого взаимодействия между сетью и зондом. Проводник, который используется для ввода тока, и зонды для измерения EPR должны быть размещены под углом как минимум 90 градусов для того, чтобы устранить влияние взаимной индуктивности.

7.2.1.1.2 Индуктивная связь

Место неисправности, которое должно быть рассмотрено для оценки результатов воздействия помехи для сравнения этих результатов с предельными значениями, должно выбираться выполняющим оценку инженером с учетом создания такой помехи, которая приводит к возникновению ситуации, наименее благоприятной для данной линии электросвязи.

На рисунке 5 показан профиль тока неисправности, протекающего от подстанций А и В, на протяжении длины линии в качестве функции от места повреждения вдоль линии электропередач. В данном случае импеданс линии электропередач к земле остается постоянным в любой точке, например, равняется 0 Ом.

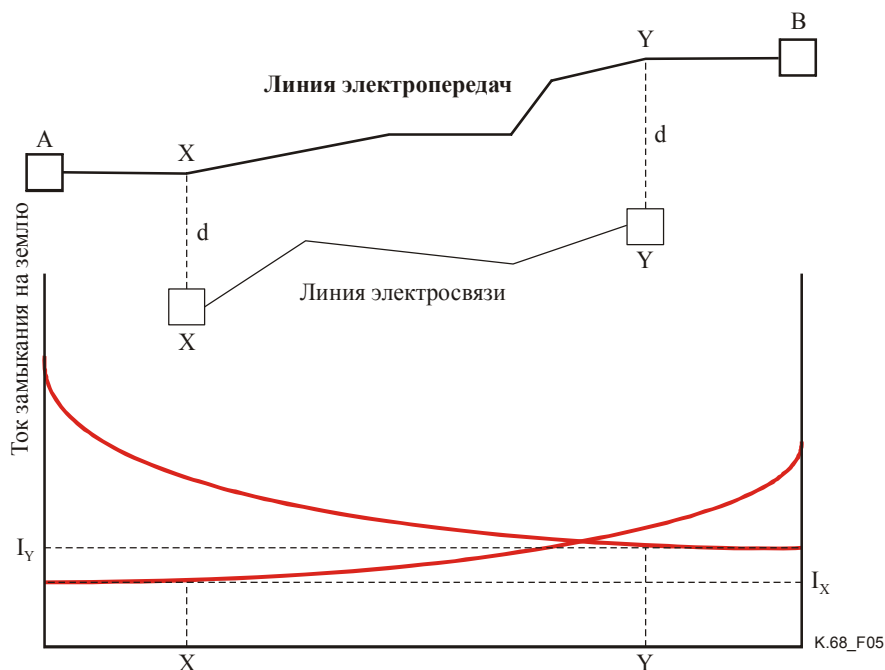


Рисунок 5/К.68 – Типичное изменение тока замыкания на землю при изменении места неисправности (например, X и Y), которое относится к тем объектам, для которых импеданс неисправности имеет постоянное значение вдоль линии

Ток неисправности от подстанции А уменьшается при перемещении вдоль линии по направлению от подстанции А к подстанции В. Если место повреждения соответствует точке Y, которая является одним из концов проекции линии электросвязи X – Y, то мы обычно получаем наибольшее значение индуцированного напряжения, возникающего под влиянием подстанции А.

Ток от подстанции В обеспечит наибольшее значение индуцируемого напряжения в точке повреждения X. Так как I_Y имеет большее значение по сравнению с I_X , то именно I_Y определяет наименее благоприятные условия.

На рисунке 6 показан случай, когда импеданс повреждения линии электропередач относительно земли имеет минимальные значения на концах, так как импеданс подстанции равен 0 Ом. Импеданс в любой точке на протяжении линии может быть равен, к примеру, 15 Ом. Таким образом, существует ступенчатый переход в профиле тока за границами подстанции, и ток повреждения должен проверяться и сравниваться не только для неисправностей, которые происходят на двух концах X и Y, но также и для питающих подстанций А и В.

Ток от подстанции А, который мы обозначим как I_Z , в этом случае определяет наиболее высокое напряжение, так как этот ток имеет большее значение по сравнению со значениями I_X и I_Y .

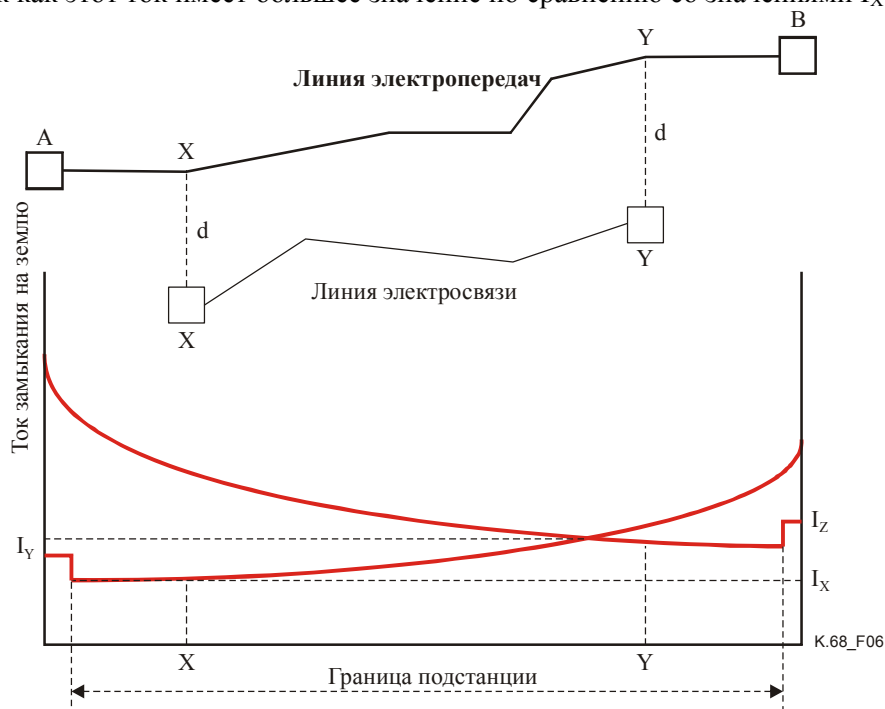


Рисунок 6/К.68 – Типичный профиль тока замыкания на землю в зависимости от расстояния вдоль линии, которая относится к тем объектам, где импеданс повреждения имеет малые значения на концах линии (подстанции) и более высокие значения в самой линии (более реалистичный случай)

7.2.1.2 Условия эксплуатации

С учетом индуктивной связи индуцирующий ток является током с непрерывной фазой с разбалансом в 2%. Когда работа происходит в режиме с одной отключенной фазой, то индуцирующий ток должен считаться равным двум третям от номинального тока линии энергоснабжения.

С учетом емкостной связи индуцирующее напряжение равно 110% от номинального напряжения.

7.2.2 Электроэнергетические системы постоянного тока

7.2.2.1 Неисправное состояние

В стадии изучения.

7.2.2.2 Условия эксплуатации

С учетом индуктивной связи индуцирующий ток представляет собой колебания, возникающие после выпрямления, которое производится в наименее благоприятных условиях эксплуатации (например, когда на объекте производится техническое обслуживание).

Администрация объекта энергоснабжения должна предоставить подобные значения.

7.2.3 Электрифицированные тяговые системы переменного тока

7.2.3.1 Состояние неисправности

Условие неисправности, которое должно быть рассмотрено, связано с током замыкания на землю для одного из проводников тяговой линии (обычно это контактный провод: другие проводники должны рассматриваться поочередно для определения наименее благоприятных условий).

Ток неисправности должен оцениваться исходя из информации об импедансе источника и импедансе линии, относящихся к индуктирующему объекту. Следует предположить, что напряжение источника принимает максимальное значение во время неисправности (110% от номинального значения), а также что импеданс неисправности равен 0 Ом.

Оператор тяговой сети должен предоставить эти значения.

Место неисправности, которое должно быть рассмотрено, при оценке результатов воздействия помех и при их сравнении с предельными значениями должно выбираться проектировщиком исходя из того, что оно оказывает наименее благоприятное индуктирующее воздействие.

Может понадобиться проверить большое количество вариантов для определения наименее благоприятного положения, особенно для питающих систем специализированного типа, таких как автотрансформаторы или повышающие трансформаторные системы (booster transformer systems).

7.2.3.2 Условия эксплуатации

а) Токи на основной частоте

Оператор тяговой сети обязан предоставить значения рабочего тока для всех проводников тягового объекта (включая пути и землю) на протяжении всего объекта, принимая во внимание следующее:

- конструкцию электрической системы;
- положения составов поездов относительно рельсовых соединителей между тяговыми обратными проводами и другими устройствами системы электрификации, такими как повышающие трансформаторы или автотрансформаторы;
- а также токи во всех относящихся путях.

б) Токи на частотах гармоник

Оператор тяговой сети должен предоставить значения всех имеющих отношение гармоник тока с учетом резонанса системы, емкости системы и с учетом каждого электропоезда, который рассматривается в качестве источника тока. В противном случае оператор тяговой сети должен предоставить значение психофизического тока.

График нагрузки для составов поездов должен соответствовать тому, который использовался для пункта а).

в) Коммутация линий

Частота f индуктирующего тока, которая должна быть использована при расчете индуктируемого напряжения, создаваемого при снабжении энергией тяговой линии переменного тока, выражается следующим образом:

$$f = \frac{v}{4l} \text{ [Гц]}, \quad (2)$$

где:

v – скорость распространения [км/с] (= 290 000 км/с)

l – длина секции линии, на которую подается энергия [км]

Значение тока выражается с помощью следующей формулы:

$$I_s = E / Z_c \text{ [A]}, \quad (3)$$

где:

E – пиковое значение напряжения питания [В]

Z_c – характеристический импеданс системы подвески контура заземления [Ом]

7.2.4 Электрифицированная тяговая система постоянного тока

7.2.4.1 Состояние неисправности

В стадии изучения.

7.2.4.2 Условия эксплуатации

При рассмотрении индуктивной связи в качестве индуктирующего тока выступают:

- a) колебания тока, возникающие в результате выпрямления переменного тока, которые оцениваются (путем расчетов или измерений) исходя из наименее благоприятных условий эксплуатации (например, в процессе технического обслуживания объектов);
- b) ток, возникающий от характера нагрузки составов поездов.

Администрация тяговой сети должна предоставить все подобные значения.

7.3 Условия, относящиеся к объектам электросвязи

Эталонным условием для индуктируемого объекта электросвязи является условие, которое определяется в проекте объекта для его установки.

Недостатки в техническом обслуживании, которые приводят к менее эффективной защите, не должны приниматься в расчет.

Оператор электросвязи обязан предоставить подобные значения.

При необходимости должны быть предоставлены параметры, которые описывают разбаланс (необходимо помнить, что разбаланс для объекта электросвязи определяется в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т К.10 [3]).

8 Определение соответствия с управляющим напряжением

8.1 Общие положения

Для того чтобы установить совместимость со значениями управляющего напряжения, уровень индуктированных напряжений должен быть оценен с помощью расчетов или измерений или же с помощью наиболее подходящей комбинации двух этих методов.

Там, где возникает вопрос обеспечения безопасности людей, индуктированные напряжения не должны превышать уровня, представляющего опасность, т. е. не должны превышать предельных значений, установленных как представляющие опасность (для типичных или сложных условий, в соответствии с ситуацией), которые определены в 6.2.

Там, где возникает вопрос о повреждении, которое наносится оборудованию, существуют две возможности:

- 1) напряжение, индуктируемое в точке, где установлено или должно быть установлено оборудование, не должно превышать уровня напряжения, которое приводит к повреждениям (значения которого определены в 6.3); или
- 2) напряжение, индуктируемое в точке, где установлено или должно быть установлено оборудование, может превышать уровень напряжения, которое приводит к повреждениям (значения которого приведены в 6.3), при условии, что верно одно из следующих условий:
 - a) оборудование, у которого уровень защищенности оказывается ниже чем значения, приведенные в 6.3, должно быть должным образом защищено;
 - b) используется оборудование с улучшенным уровнем защищенности (уровень защищенности превышает значения, указанные в 6.3).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения напряжения, которые описывают повреждения согласно 6.3, имеют своей целью только определить, каким образом должна распределяться ответственность (например, расходы) среди владельцев индуктирующего и индуктируемого объекта.

Там, где возникает проблема неправильного функционирования оборудования, существуют две возможности:

- 1) напряжение, индуцируемое в том месте, где установлено или может быть установлено оборудование, не должно превышать значений напряжения, которое в пункте 6.4 определяется как приводящее к неправильному функционированию; или
- 2) напряжение, индуцируемое в том месте, где установлено или может быть установлено оборудование, может превышать значения напряжения, которые согласно 6.4 приводят к неправильному функционированию при том условии, что используется оборудование с повышенным уровнем помехоустойчивости (уровень помехоустойчивости выше, чем значения, которые приводятся в пункте 6.4).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения напряжения, которые приводят к неправильному функционированию и которые указаны в пункте 6.4, имеют своей целью исключительно определить, каким образом должна распределяться ответственность (например, расходы) между владельцами индуцирующего и индуцируемого объекта.

Там, где возникает проблема, связанная с шумами, полученное в результате оценки значение психофизического напряжения между двумя проводами в одной паре для любого окончательного устройства индуцируемого объекта электросвязи должно быть меньшим или равняться предельному значению шума, которое приводится в 6.5.

8.2 Наложение эффектов

При рассмотрении области действия помех для индуцируемого объекта действительна следующая гипотеза:

- неисправности в индуцирующих объектах (которые отличаются чрезвычайно малой продолжительностью) не происходят одновременно. Это означает, что результаты от воздействия помехи, создаваемые в индуцируемом объекте от одного индуцирующего объекта, в котором возникают неисправности, должны оцениваться по отдельности и непосредственно сравниваться с соответствующими управляющими напряжениями;
- все индуцирующие объекты одновременно работают в нормальном режиме эксплуатации. Это означает, что следует оценивать результаты от воздействия на индуцируемый объект помех, создаваемых всеми индуцирующими объектами, работающими в нормальном режиме эксплуатации, и эти "суммарные" результаты должны сравниваться с соответствующими управляющими напряжениями.

8.3 Определение соответствия с помощью вычислений

Обычно для определения соответствия используются вычисления.

Вычисления должны проводиться в соответствии с тем, какие условия предусмотрены между затронутыми сторонами: согласованные методы расчетов должны выбираться в соответствии с теми методами, которые приводятся в Директивах.

8.4 Определение соответствия с помощью измерений

Данный метод не получил широкого распространения по многим причинам, например, полноценная программа по проведению измерений может оказаться очень дорогостоящей. Более того, необходимо помнить о том, что обычно результаты измерений не могут непосредственно сравниваться с управляющими напряжениями, т. к. очень тяжело проводить измерения в эталонных условиях воздействия помехи, которые связаны с управляющими напряжениями. Это означает, что результаты измерений, которые выполнялись не для наименее благоприятных условий воздействия помехи, должны быть соответствующим образом обработаны с помощью методов вычислений, и только после этого они должны сравниваться с управляющими напряжениями.

С другой стороны, в некоторых случаях предпочтительнее использовать измерения вместо расчетов, например, когда входные данные для расчетов известны с низкой точностью или когда алгоритм вычислений основывается на аппроксимации. Например, может оказаться более целесообразным не вычислять уровень шума, а измерить его.

9 Управление помехами

9.1 Общие сведения

Каждая ситуация с возникновением помех связана с угрозой для безопасности людей и возможностью повреждения или неправильного функционирования оборудования. Это означает, что

необходимо тщательно управлять данными явлениями (см. пункт 4) с целью гарантировать то, что при завершении стадии проектирования помехи оказываются допустимыми; при необходимости должны быть обеспечены адекватные меры противодействия помехам (см. 4.4.3).

Взаимодействие в вопросах решения проблем, связанных с электромагнитными помехами, осуществляется к взаимной пользе владельцев затрагиваемых объектов.

9.2 Срок службы объекта

Необходимо помнить, что технические характеристики объекта часто изменяются на протяжении срока службы этого объекта: как следствие также на протяжении срока службы объекта может изменяться и статус помехи.

Критическая ситуация возникает в тот момент, когда под влиянием изменения технических характеристик для одного или более объектов или же под влиянием того факта, что в пределах области действия помех появляется новый индуктирующий объект, допустимые помехи превращаются в помехи, которые уже не являются допустимыми. С помощью соответствующего мониторинга необходимо отслеживать изменение с течением времени технических характеристик объектов, которые связаны с э.м. помехами.

9.3 Обмен информацией

Необходимо помнить о том, что область воздействия помех может включать несколько индуктирующих/индуктируемых объектов, которые имеют различных владельцев. По этой причине очень важен корректный, эффективный, надежный и своевременный обмен информацией между всеми затронутыми компаниями.

Одним из возможных решений является то, что каждая компания назначает "менеджера по помехам", который обладает полной картиной всех связанных с помехами проблем, относящихся к компании. Такая картина служит в качестве отправной точки при каждом обмене информацией, связанной с помехами, относящимися к компании.

9.4 Документация на объект

Одним из возможных способов контролировать ситуацию с помехами является поддержание досье помех для каждого объекта.

Такое досье может быть создано в форме некоторого количества поддосье, которые соответствуют ситуациям с помехами для объекта: это означает, что досье для объекта электросвязи содержит ровно столько поддосье, сколько существует индуктирующих объектов. Аналогично, досье для объекта энергообеспечения будет содержать столько поддосье, сколько существует индуктируемых объектов (досье относится к области действия помех).

Каждое поддосье содержит все документы, имеющие отношение к проблеме, а именно:

- контакты со всеми владельцами индуктирующих объектов (в случае досье для объекта электросвязи) или владельцами индуктируемых объектов (в случае досье для объекта энергообеспечения) с целью сохранить информацию о том, когда, как и откуда были получены данные;
- геометрические и электрические описания для объектов, затронутых помехой;
- результаты выполненных расчетов (один расчет, если помеха являлась допустимой с самого начала; несколько расчетов, если с самого начала помеха не являлась допустимой, по этой причине понадобилось проектирование мер противодействия: в досье объекта должна фиксироваться информация по такому проектированию);
- результаты выполненных измерений, если только они проводились;
- любые другие документы, которые относятся к соглашениям между владельцами объектов, важные для разделения издержек от помехи, если такие документы имеются.

Каждое поддосье должно являться независимым и законченным.

Таким же образом, как характеристики объекта изменяются в течение срока его существования, так же и досье помех для объекта будет изменяться на протяжении срока существования объекта, в него может понадобиться добавлять новые документы (документы могут только добавляться в досье объекта) с целью отразить историю существования объекта.

Приложение А

Метод оценки эталонного расстояния воздействия

А.1 Индуктивная связь

А.1.1 Принципы проведения вычислений

Эталонное расстояние воздействия (reference influence distance, RID) для линий электропередач или тяговых систем может определяться на основании управляющих напряжений U_m с учетом влияния индуктирующего тока, возможной максимальной индуктирующей длины и различных мероприятий по экранированию. На первом этапе вычисляется нормализованное значение u_m управляющего напряжения на основании следующей формулы:

$$u_m = \frac{U_m}{l_m} \frac{1}{k_t} \frac{1}{k_u} \frac{1}{k_p} \frac{1}{I_p} \left[\frac{V}{km \cdot kA} \right], \quad (A-1)$$

где:

U_m – соответствующее значение управляющего напряжения, которое относится к индуктирующим условиям (неисправность или нормальный рабочий режим) и типу управляющего напряжения (повреждение, сопротивление), выражается в Вольтах

l_m – максимальная индуктирующая длина, относящаяся к объектам в данном случае индукции, выражается в километрах

k_t – коэффициент экранирования, связанный с индуктируемой линией, является безразмерной величиной

k_u – коэффициент экранирования, связанный с подземными металлическими конструкциями (городской фактор), является безразмерной величиной

k_p – коэффициент экранирования, связанный с индуктирующей линией электропередачи, безразмерная величина

I_p – ток возврата по земле для индуктирующей линии электропередачи, выражается в кА

Численное значение u_m , полученное с помощью предыдущего уравнения, равняется численному значению взаимной индуктивности z_m (на единицу длины) между индуктирующей линией и гипотетической линией, проложенной параллельно индуктирующей линии на эталонном расстоянии воздействия (RID), т. е.:

$$u_m = z_m \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-2)$$

Значение z_m является функцией следующих величин:

f : частота индуктирующего тока, в Гц

ρ : эквивалентное сопротивление земли

d : эталонное расстояние воздействия для индуктивной связи,

таким образом:

$$z_m = f(f, \rho, d) \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-3)$$

Для данного случая индукции для окружения должны быть изучены параметры значения частоты f и удельного сопротивления почвы ρ , таким образом, эталонное расстояние воздействия d может быть оценено с помощью показанного выше выражения. В связи с достаточно сложной математической зависимостью в выражении для z_m нельзя вывести явную зависимость для вычисления эталонного расстояния воздействия d . Тем не менее определить значение d можно с помощью одного из обсуждаемых далее методов.

А.1.2 Определение эталонного расстояния воздействия

А.1.2.1 Метод вычислений

В принципе любое выражение, которое определяет зависимость между взаимным импедансом z_m , током возврата по земле и величинами, которые появляются в выражении (А-3), может использоваться для вычисления значений эталонного расстояния воздействия (RID) d для индуктивной связи. Такие отношения рассматриваются в Томе II Директив (пункт 4.1 для [6]). Рассматривая способ оценки RID, мы видим, что для z_m не требуется никаких выражений, которые обеспечивали бы высокую точность. Таким образом, может использоваться следующее выражение, заданное в полиномиальной форме:

для $x \leq 10$:

$$|z_m| = 2\pi f \cdot 10^{-3} (142,5 + 45,96x - 1,413x^2 - 198,4 \ln x) \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (\text{А-4a})$$

для $x > 10$:

$$|z_m| = 2\pi f \cdot 10^{-3} \frac{400}{x^2} \left[\frac{m\Omega}{km} \right], \quad (\text{А-4b})$$

где:

$$x = \alpha \cdot d = \sqrt{\mu_o \frac{\omega}{\rho}} \cdot d = 2,81 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{f}{\rho}} \cdot d \quad [-] \quad (\text{А-5})$$

Если частота f и удельное сопротивление почвы ρ выбираются в соответствии с действительными условиями, то x будет выражаться как функция d с помощью формулы (А-5). Подставляя это выражение для x в формулу (А-4) и определяя $|z_m|$ в соответствии с выражениями (А-1) и (А-2), мы получаем соотношение между $|z_m|$ и d . Далее может быть вычислено d , т. е. требуемое эталонное расстояние воздействия (RID). Из соображений производительности для практических вычислений должен использоваться специализированный компьютерный код (например, на основе метода итерации).

А.1.2.2 Определение с помощью графиков

На рисунках А.1, А.2, А.3 и А.4 показаны наборы кривых, которые выражают значение эталонного расстояния воздействия (RID) в виде функции удельного сопротивления земли и нормализованного управляющего напряжения, в качестве параметров используются 50 Гц, 60 Гц, 16⅔ Гц и 800 Гц, соответственно. Данные графики являются удобным и простым графическим инструментом для определения RID, относящегося к заданному нормализованному управляющему напряжению u_m (выраженному из расчета на 1 км и 1 кА), полученному из выражения (А-1) для действующего значения специфического удельного сопротивления ρ земли (выраженного в Ом·м).

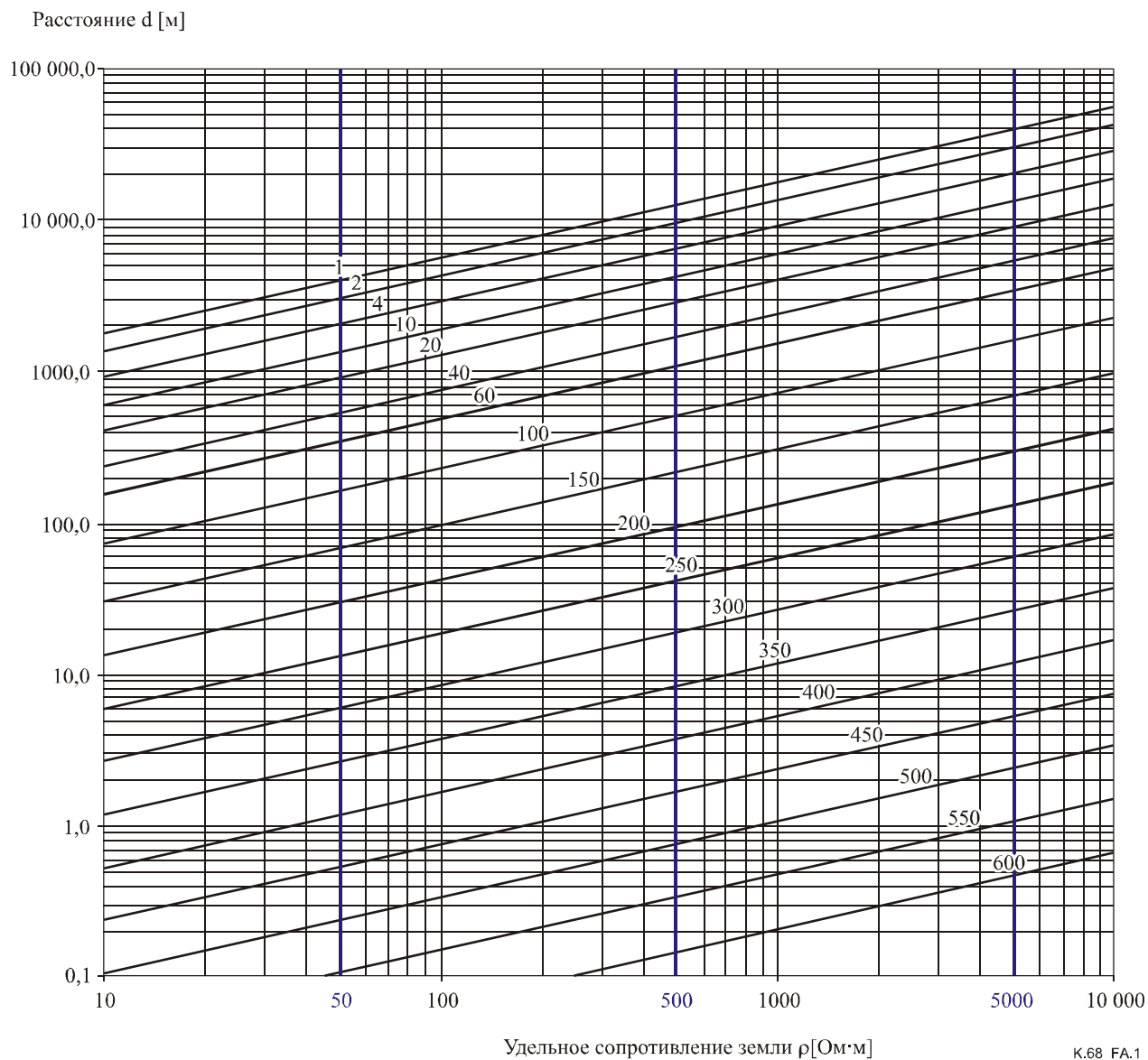


Рисунок А.1/К.68 – Графическая связь между разделяющим расстоянием и удельным сопротивлением земли для заданных индуктированных напряжений, которые указаны в качестве метки для кривых и выражаются в [В/(км.кА)]. Частота: 50 [Гц]

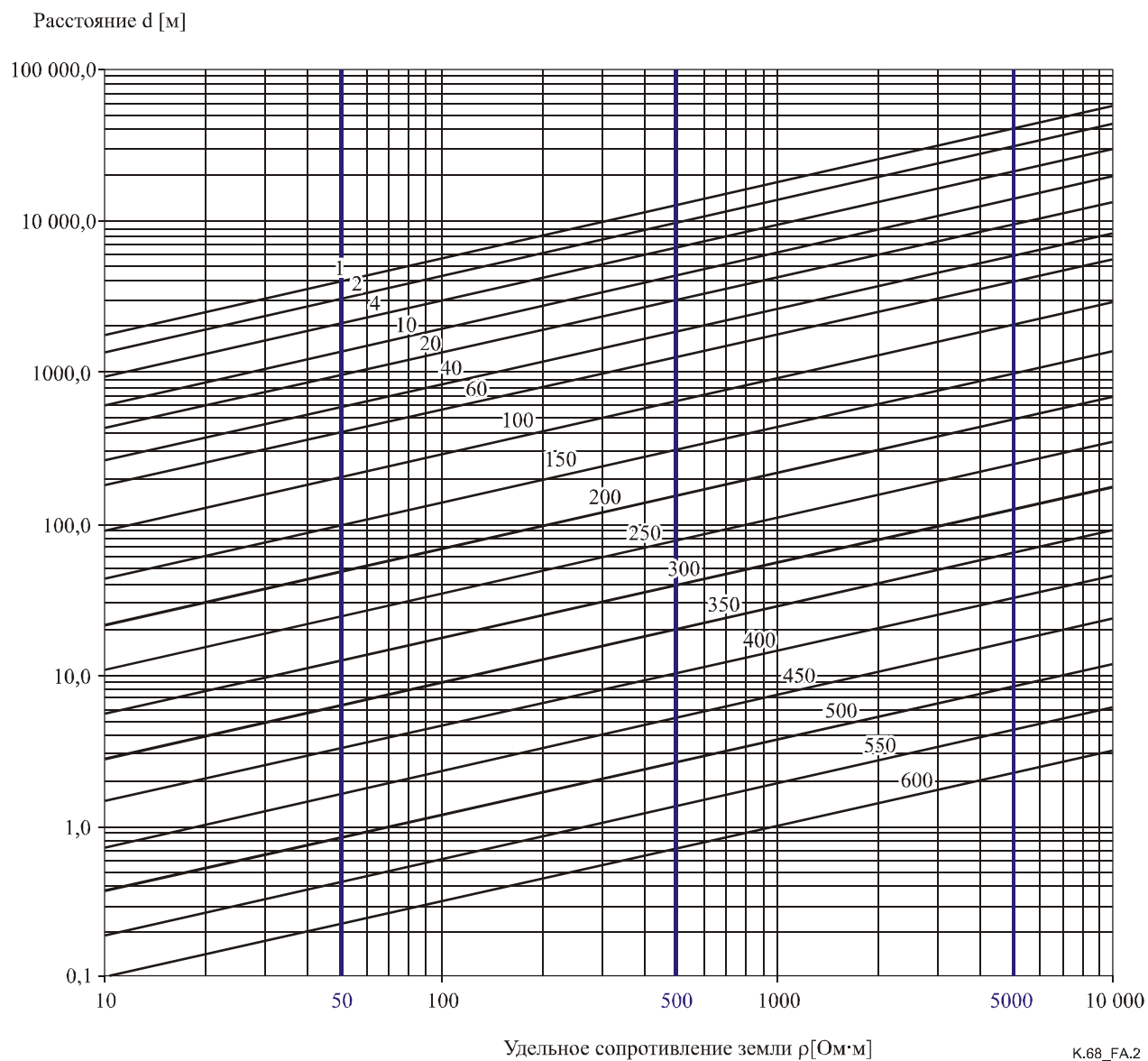


Рисунок А.2/К.68 – Графическая связь между разделяющим расстоянием и удельным сопротивлением земли для заданных индуктированных напряжений, которые указаны в качестве метки для кривых и выражаются в [В/(км·кА)]. Частота: 60 [Гц]

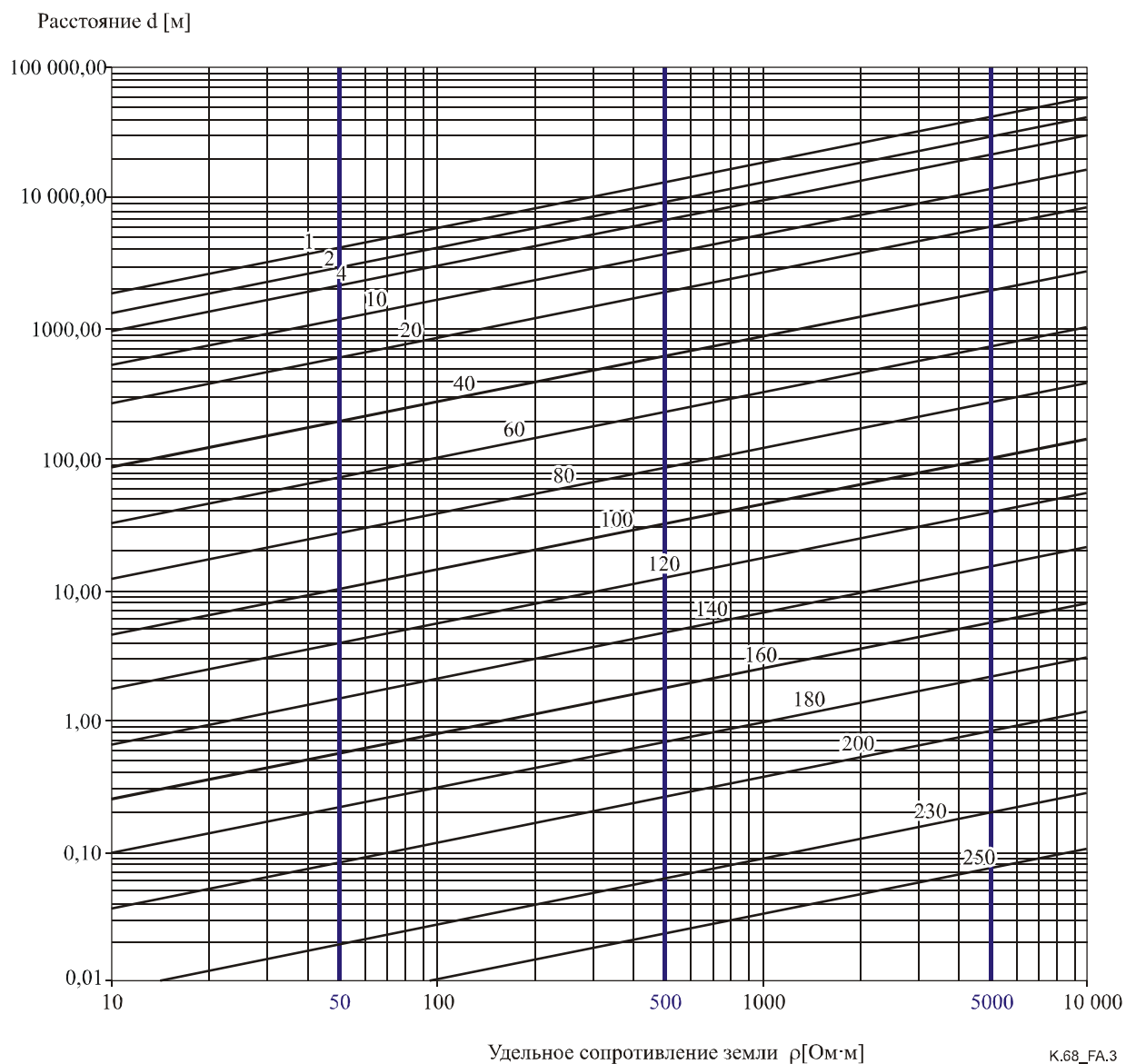


Рисунок А.3/К.68 – Графическая связь между разделяющим расстоянием и удельным сопротивлением земли для заданных индуктированных напряжений, которые указаны в качестве метки для кривых и выражаются в [В/(км·кА)]. Частота: 16 $\frac{2}{3}$ [Гц]

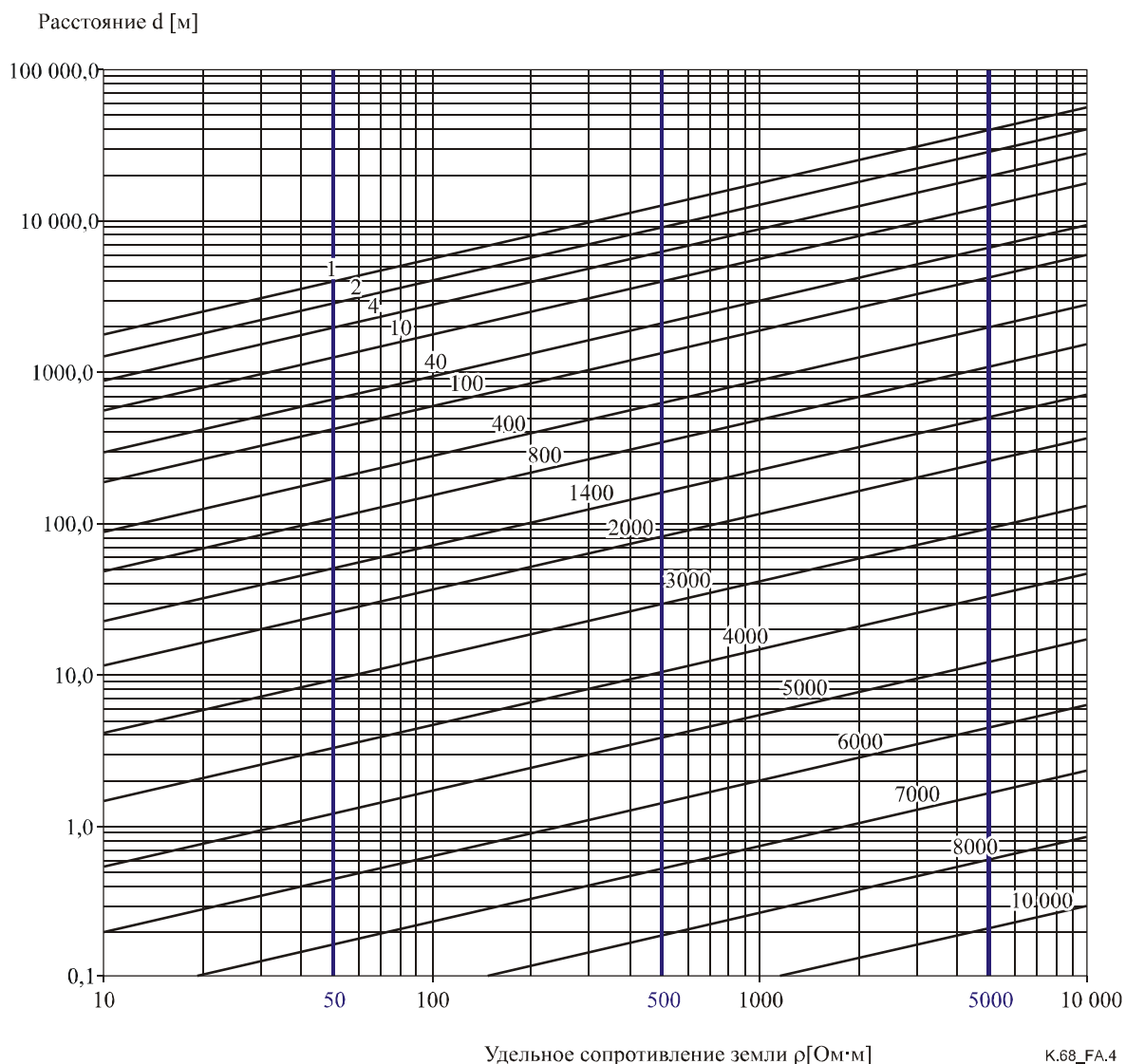


Рисунок А.4/К.68 – Графическая связь между разделяющим расстоянием и удельным сопротивлением земли для заданных индуктированных напряжений, которые указаны в качестве метки для кривых и выражаются в [В/(км.кА)]. Частота: 800 [Гц]

А.2 Гальваническая связь

А.2.1 Вычисление RID для сети заземления подстанции

Ток I_e , который протекает через сопротивление заземления сети заземления подстанции, приводит к повышению потенциала самой сети (повышение потенциала электродов), что в свою очередь приводит к повышению потенциала земли (EPR, "потенциальная воронка") в области, окружающей подстанцию. Этот потенциал путем гальванической связи может передаваться индуктируемому объекту, который подключен к подстанции, или же при расстояниях, меньших чем RID, передается с помощью гальванической связи потенциальной воронке.

Повышение потенциала сети заземления может быть определено с помощью следующей формулы [7]:

$$U_e = R_e I_e = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} k_p I_p \text{ [V]}, \quad (\text{A-6})$$

где:

$$R_e = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \text{ – сопротивление заземления сети, выраженное в Ом}$$

ρ – удельное сопротивление земли (на поверхности), в Ом·м

A – площадь сети заземления, в кв. м

$I_e = k_p I_p$ – ток заземления подстанции, т. е. та часть тока повреждения, которая течет от сети на землю, в А

k_p – коэффициент тока заземления, который определяет, какая часть тока повреждения течет от сети на землю, безразмерная величина

I_p – ток неисправности несбалансированного (нулевой последовательности) типа, который возникает на подстанции, в А

Следует заметить, что значение повышения потенциала подстанции увеличивается линейно вместе с ростом значения ρ и уменьшается вместе с ростом площади сети заземления.

Ток на землю I_e представляет собой разницу между током неисправности подстанции и током, который возвращается по нейтралю трансформатора(ов) подстанции, через провод(а) заземления линии(ий) электропередачи и через оболочку(и) кабеля(ей), подключенных к подстанции. Последние два значения могут быть выражены с помощью коэффициента экранирования рассматриваемых линий.

Значение EPR выражается с помощью распределения потенциала $k(a)$, которое по определению является нормализованным значением потенциала земли $V(a)$ относительно базового потенциала сети U_e

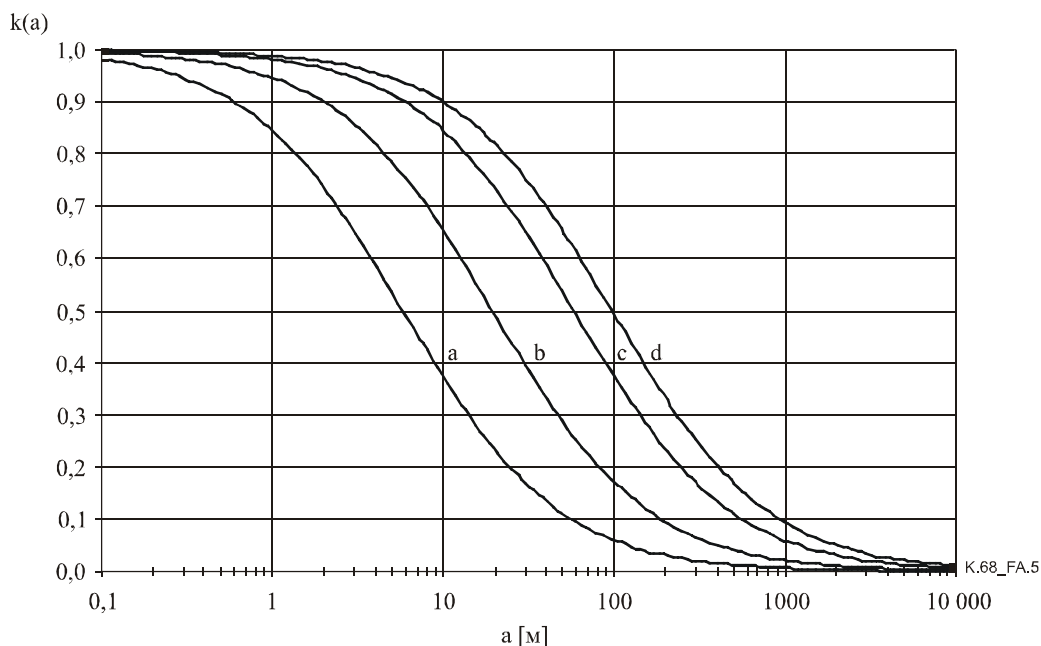
$$k(a) = \frac{V(a)}{U_e} \quad [-], \quad (\text{A-7})$$

где $V(a)$ представляет собой значение EPR на расстоянии a , которое измеряется от края сети.

Функция потенциала земли может быть представлена с помощью следующего выражения:

$$k(a) = 0,674 \ln \frac{a + 0,815\sqrt{A}}{a + 0,185\sqrt{A}} \quad [-] \quad (\text{A-8})$$

На рисунке А.5 функция распределения потенциала $k(a)$ показана в виде зависимости от расстояния a , которое измеряется от края (границы) сети заземления.



Метка Площадь сети [м²]:

a	A = 225
b	A = 2500
c	A = 22 500
d	A = 62 500

Рисунок А.5/К.68 – Функция распределения потенциала земли $k(a)$ в виде зависимости от расстояния a , которое измеряется от края сети заземления

Исходя из выражения (А-8), значение a может быть выражено с помощью функции $k(a)$ по следующей формуле:

$$a = \frac{0,815 - 0,185 \times 4,41^{k(a)}}{4,41^{k(a)} - 1} \sqrt{A} \quad [\text{м}] \quad (\text{А-9})$$

Потенциал земли $V(a)$, если его значение уменьшить с учетом компенсирующих эффектов, должен равняться управляющему напряжению U_m на расстоянии a , которое соответствует эталонному расстоянию воздействия RID:

$$U_m = k_u k_t V(a) \quad [\text{В}], \quad (\text{А-10})$$

где:

k_u – городской фактор

k_t – коэффициент экранирования для индуцируемой линии

Выражаем $V(a)$ с помощью уравнения (А-10):

$$V(a) = \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\text{В}] \quad (\text{А-11})$$

Подставляя (А-6) и (А-11) в выражение (А-7), мы получаем для $k(a)$ следующее выражение:

$$k(a) = \frac{\frac{U_m}{k_p k_u k_t}}{\frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} I} = \frac{u_m}{U_e(A_k)} \quad [-], \quad (\text{А-12})$$

где u_m – нормализованное значение управляющего напряжения, которое относится к гальванической связи для сети заземления подстанции.

Используя выражения для $k(a)$, полученное на основании выражения (А-12), мы можем определить расстояние RID, которое равняется a : для этого мы можем использовать либо функцию распределения потенциала земли, показанную на рисунке А.5, либо выражение (А-9).

А.2.2 Вычисление RID для заземления опоры ЛЭП

А.2.2.1 ЛЭП без грозозащитного троса

Повышение потенциала земли в случае ЛЭП, которая не использует грозозащитный трос, выражается следующим уравнением, где предполагается, что используется электрод заземления в виде полусферы:

$$U_e = R_e I_{p-ef} = \frac{\rho}{2\pi r_e} I_{p-ef} \quad [В], \quad (A-13)$$

где:

r_e – эквивалентный радиус заземления основании опоры, в м

I_{p-ef} – ток повреждения при КЗ фаза-земля, в А

Зависимость $V(a)$ для повышения потенциала земли (EPR) характеризуется следующим распределением потенциала, которое относится к обычно используемым устройствам заземления оснований опор ЛЭП при помощи полусферических электродов заземления [7]:

$$V(a) = 2,9 \frac{U_e}{a} \quad [В], \quad (A-14)$$

где $V(a)$ обозначает значение EPR на расстоянии a , которое измеряется от центра основания опоры.

Выражая расстояние a и рассматривая выражения (А-10) и (А-11), т. е. если $V(a) = u_m$, то расстояние a от центра до конструкции из электродов равняется эталонному расстоянию воздействия RID:

$$RID = a = 2,9 \frac{U_e}{V(a)} = 2,9 \frac{U_e}{\frac{U_m}{k_u k_t}} = 2,9 \frac{U_e}{u_m} \quad [м] \quad (A-15)$$

Или, после подстановки U_e из формулы (А-13), значение RID будет выражаться следующим образом:

$$RID = 2,9 \frac{\rho k_u k_t}{2\pi r_e U_m} I_{p-ef} \quad [м] \quad (A-16)$$

А.2.2.2 ЛЭП с грозозащитным тросом

Повышение потенциала земли для случая линий электропередач, оборудованных грозозащитным тросом, определяется следующим:

- значением тока неисправности, текущего на землю;
- средним сопротивлением заземления опор ЛЭП;
- конфигурацией грозозащитного троса;
- средним пролетом.

Значения повышения потенциала для опоры, полученные путем моделирования, представлены в таблице А.1 [7] для указанных там эталонных условий.

Если ток отличается от значения 10 кА, то повышение потенциала можно пересчитать исходя из условия пропорциональности значению тока:

$$U_e = U_{10} \frac{I_{p-ef}}{10} \quad [В], \quad (A-17)$$

где:

U_{10} – повышение потенциала опоры для эталонных условий, представленных в таблице А.1 и выраженных в В/10 кА

I_{p-ef} – ток КЗ на землю, в кА

Таблица А.1/К.68 – Повышение потенциала для неисправной опоры ЛЭП для эталонных условий и параметров при токе КЗ на землю, равном 10 кА

Сопротивление заземления [Ом]	Повышение потенциала опоры U_{10} , [В/10 кА]		
	Конфигурация грозозащитного троса		
	1 sw [кВ]	2 sw [кВ]	1 sw + ср [кВ]
8	4 663	3 237	872
25	8 208	5 589	2 290
50	11 413	7 432	4 316
sw – грозозащитный трос			
ср – противовес			

Подставляя U_e , выраженное с помощью (А-17), в выражение (А-15), мы получаем для значения RID следующее уравнение:

$$RID = 2,9 \frac{U_{10}}{u_m} \frac{I_{p-ef}}{10} = 2,9 k_u k_t \frac{U_{10}}{U_m} \frac{I_{p-ef}}{10} \quad [м] \quad (A-18)$$

А.2.3 Вычисление RID для гальванической связи в случае электрифицированных тяговых систем переменного тока

В случае электрифицированной тяговой системы переменного тока эффект гальванической связи возникает при повышении потенциала рельс (в качестве потенциала электрода), которое происходит в тех местах, где ток втекает или вытекает в рельс (например, при прохождении поезда, соединении повышающих трансформаторов, мест расположения автотрансформаторов, питающих станций).

Возрастание потенциала рельс характеризуется следующим:

- 1) сильная зависимость от электрической проводимости утечки рельс-земля G (уменьшается вместе с увеличением G);
- 2) различается для систем с частотой 50 Гц (выше) и 16 $\frac{2}{3}$ Гц (ниже);
- 3) увеличивается вместе с расстоянием между точками, где ток втекает в рельс и где ток вытекает из рельса (эта тенденция сохраняется только до тех пор, пока длина не превышает удвоенную длину зоны конечных эффектов для цепи рельс-земля). Благодаря данному факту повышение потенциала рельса имеет меньшее значение для специальных систем питания (автотрансформаторных или на основе повышающих трансформаторов), чем для простых систем с возвратом по рельсам (RR), особенно в случае малых расстояний для АТ (автотрансформатор) или ВТ (повышающий трансформатор). Разница составляет приблизительно 20%, и ей можно пренебречь при вычислении RID, что приводит к завышению значений RID для специальных питающих систем.

Рисунок А.6 [8] иллюстрирует явления, описанные в пунктах 1) и 2).

Предполагая, что электрическая проводимость утечки $G = 0,25$ См/км, и рассматривая это значение как эталонное значение для утечки рельс-земля, мы получаем следующие нормализованные значения потенциала рельс при условиях, соответствующих рисунку А.6 [8]:

- $U_{e50} = 25$ В при 100 А для частоты 50 Гц; и
- $U_{e16\frac{2}{3}} = 15$ В при 167 А для 16 $\frac{2}{3}$ Гц.

Необходимо заметить, что тяговый ток, затрагиваемый в данной тяговой мощности, например, для 2500 кВА, приводит к возникновению практически одинакового потенциала рельс как для тяговых систем с напряжением 25 кВ, так и для систем с напряжением 15 кВ, т. е. в системе с напряжением 25 кВ ток равен 100 А, что приводит к значению $1 \times 25 \text{ В} = 25 \text{ В}$, а в случае систем с напряжением 15 кВ ток равен 167 А, что приводит к значению $1,67 \times 15 \text{ В} = 25,05 \text{ В}$ для потенциала рельса.

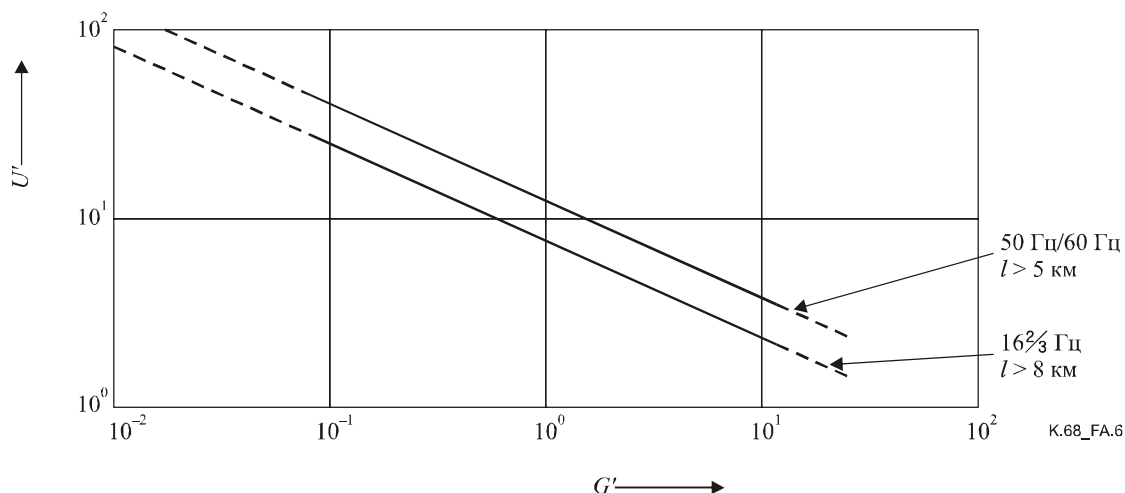


Рисунок А.6/К.68 – Ориентировочные значения для нормализованного потенциала рельса U' , В на 100 А, для тяговых систем переменного тока в зависимости от проводимости утечки рельс-земля (выражается в См/км)

Потенциал рельса для значения S кВА тяговой мощности выражается следующим уравнением:

$$U_e = U_{RE} = 25 \frac{S}{2500} = \frac{S}{100} \quad [\text{В}] \quad (\text{А-19})$$

Нормализованное значение для повышения потенциала земли (EPR) U_{PE} , в котором базовым потенциалом является потенциал рельса U_{RE} , на рисунке А.7 [8] показано в виде зависимости от расстояния по горизонтали a для тяговой линии переменного тока с двумя путями.

Потенциал земли U_{PE} , после соответствующего уменьшения с учетом эффектов компенсации, должен равняться управляющему напряжению U_m на расстоянии a , которое соответствует значению RID:

$$U_m = k_u k_t U_{PE}(a) \quad [\text{В}], \quad (\text{А-20})$$

где:

k_u – городской фактор

k_t – коэффициент экранирования индуцируемой линии

Выражая $U_{PE}(a)$ из (А-20):

$$U_{PE}(a) = \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\text{В}] \quad (\text{А-21})$$

Используя выражения (А-19) и (А-21), соотношение U_{PE}/U_{RE} может быть выражено следующим образом:

$$100 \frac{U_{PE}(a)}{U_{RE}} = \frac{10^4}{S} \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\%], \quad (\text{А-22})$$

где:

U_m – управляющее напряжение, выраженное в В

S – тяговая мощность, выраженная в кВА

Используя процентное соотношение из (А-22), из рисунка А.7 может быть определено значение $RID = a$.

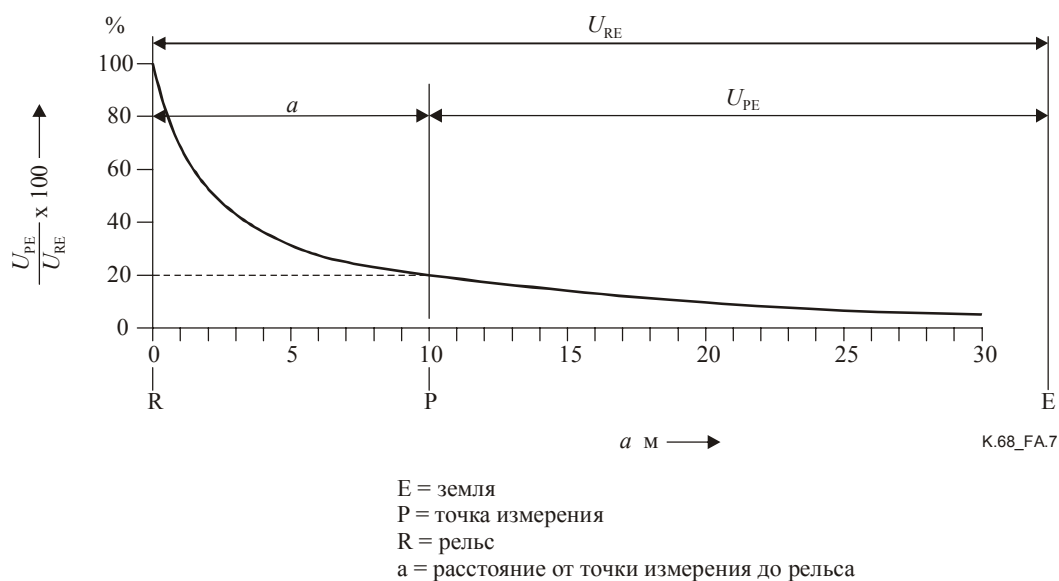


Рисунок А.7/К.68 – Нормализованное значение EPR U_{PE} , базовым потенциалом является потенциал рельса U_{RE} , в зависимости от расстояния по горизонтали a для тяговой линии переменного тока с двумя путями

Следует заметить, что в обсуждавшемся выше методе предполагалось, что наиболее строгое значение RID обуславливается нормальным рабочим током, а не током короткого замыкания.

Дополнение I

Весовые коэффициенты, предназначенные для использования при определении психометрически взвешенного напряжения

Показанные ниже таблицы содержат численные результаты для весовых коэффициентов для диапазона частот от 16⅔ Гц до 6000 Гц, которые используются для определения психометрически взвешенных напряжений (см. определение 3.32).

Частота [Гц]	Весовой коэффициент
16,66	0,056
50	0,71
100	6,91
150	35,5
200	89,1
250	178
300	295
350	376
400	484
450	582
500	661
550	733
600	794
650	851
700	902
750	955
800	1 000
850	1 035
900	1 072
950	1 109
1 000	1 122
1 050	1 109
1 100	1 072
1 150	1 035
1 200	1 000
1 250	977
1 300	955
1 350	928
1 400	905
1 450	881
1 500	861
1 550	842
1 600	824
1 650	807

Частота [Гц]	Весовой коэффициент
1 700	791
1 750	775
1 800	760
1 850	745
1 900	732
1 950	720
2 000	708
2 050	698
2 100	689
2 150	679
2 200	670
2 250	661
2 300	652
2 350	643
2 400	634
2 450	626
2 500	617
2 550	607
2 600	598
2 650	590
2 700	580
2 750	571
2 800	562
2 850	553
2 900	543
2 950	534
3 000	525
3 100	501
3 200	473
3 300	444
3 400	412
3 500	376
3 600	335
3 700	292
3 800	251
3 900	214
4 000	178
4 100	144,5
4 200	116
4 300	92,3
4 400	72,4
4 500	56,2

Частота [Гц]	Весовой коэффициент
4 600	43,7
4 700	33,9
4 800	26,3
5 000	20,4
> 5 000	15,9
> 6 000	7,1

Дополнение II

Значения величин, которые оказывают влияние на эталонное расстояние воздействия в случае индуктивной связи

II.1 Ориентировочные значения

II.1.1 Общие положения

В данном приложении приводятся ориентировочные значения для величин, которые влияют на эталонное расстояние воздействия (RID) в случае индуктивной связи (см. А.1), позволяя таким образом получить реалистичные оценки для значений RID.

Ориентировочные значения в основном классифицируются по следующим факторам:

- величины, которые характеризуют электромагнитное окружение;
- величины, которые характеризуют индуктирующие объекты;
- величины, которые характеризуют индуктируемые объекты.

Дальнейшая классификация производится с учетом типа объекта и условий, относящихся к данному объекту.

II.1.2 Величины, характеризующие электромагнитное окружение

Величины, которые не могут быть связаны ни с индуктирующим объектом, ни с индуктируемым объектом и которые оказывают влияние на весь процесс в целом, относятся именно к этой категории.

II.1.2.1 Управляющие напряжения, U_m

Значение управляющего напряжения – это соответствующее значение, которое приводилось в пункте 6.

II.1.2.2 Удельное сопротивление земли, ρ

При индуктивной связи с низкой частотой, по причине глубокого проникновения вглубь земли, ключевое значение имеет сопротивление слоев земли на больших глубинах (от нескольких сотен до нескольких тысяч метров).

Исходя из практических соображений, в данной Рекомендации будут рассматриваться только значения, приведенные в таблице П.1.

Таблица П.1/К.68 – Ориентировочные значения для сопротивления земли

	Сопротивление почвы [Ом·м]		
Значение	50	500	5 000 (Примечание)
Диапазон	10–150	150–1 500	1 500–15 000 (Примечание)
ПРИМЕЧАНИЕ. – Для областей, где глубокие слои состоят из первичной породы.			

П.1.2.3 Коэффициент экранирования для подземных конструкций (городской фактор), k_u

В сельских районах действует общий эффект экранирования, связанный с подземными металлическими конструкциями. Учесть этот эффект можно с помощью городского фактора k_u . Предлагаемые для этого коэффициента значения приводятся в таблице П.2.

Таблица П.2/К.68 – Ориентировочные значения городского фактора, k_u

	Окружение	
	Городской район	Сельский район
Городской фактор k_u	0,1–0,4–0,7 (Примечание)	1,0
ПРИМЕЧАНИЕ. – 0,1 для больших городов с высоким сопротивлением почвы.		

Следует заметить, что экранирующий эффект в городских районах становится все более и более слабым по причине уменьшения использования металлических систем в коммунальном хозяйстве.

П.1.3 Величины, которые характеризуют индуцирующие объекты

П.1.3.1 Ориентировочные значения для электроэнергетических объектов переменного тока

П.1.3.1.1 Электроэнергетические объекты с непосредственно заземленной нейтралью

Сети с непосредственным заземлением включают сети, в которых нейтраль заземляется непосредственно или с помощью соединения с небольшим импедансом, или же с помощью комбинации этих двух методов. К этой категории относятся сети с высоким напряжением (включая высокое, сверхвысокое и ультравысокое напряжение).

П.1.3.1.1.1 Индуцирующий ток

a) Ток короткого замыкания фаза-земля, I_{p-sc}

В сетях высокого напряжения (HV) с непосредственно заземленной нейтралью короткое замыкание фазы на землю приводит к высоким значениям тока неисправности, текущим на землю. Значительная часть тока неисправности возвращается по земле обратно, вызывая индуктивную связь с расположенными поблизости индуцируемыми объектами. С другой стороны, замыкания на землю в таких системах легко обнаруживаются с помощью релейной защиты и устраняются за короткий промежуток времени, который обычно составляет от 60 до 100 миллисекунд.

Величина тока неисправности повышается вместе с увеличением мощности короткого замыкания в питающей подстанции(ях) и уменьшается вместе с увеличением расстояния между подстанцией и местом неисправности.

Из практических соображений приводимые в таблице П.3 ориентировочные значения для токов замыкания на землю в линиях сетей с непосредственно заземленной нейтралью рассматриваются при сопротивлении замыкания на землю, которое равняется 0 Ом или 15 Ом.

Таблица П.3/К.68 – Ориентировочные значения для тока повреждения на землю I_{p-ef} в линиях сетей с непосредственно заземленной нейтралью

Значения сопротивления повреждения на землю [Ом]	Ток повреждения на землю [кА]		
	Большое расстояние до места неисправности, малая мощность КЗ	Промежуточные условия	Близкое расстояние до места неисправности, высокая мощность КЗ
0	10	20	40
15	7	10	15

b) Ток короткого замыкания между фазой и землей для высоковольтной линии с частотой $16\frac{2}{3}$ Гц, I_{p-sc}

В случае высокого напряжения (обычно уровня 110–130 (2х65) кВ) для двухфазных сетей с частотой $16\frac{2}{3}$ Гц, питающих электрифицированные тяговые системы, эталонный индуктирующий ток также представляет собой ток КЗ фаза-земля. Ориентировочные значения для тока замыкания на землю I_{p-rw} в высоковольтных двухфазных линиях передачи, питающих железнодорожные системы с частотой $16\frac{2}{3}$ Гц, приводятся в таблице П.4.

Таблица П.4/К.68 – Ориентировочные значения для тока повреждения на землю I_{p-rw} для высоковольтных двухфазных линий передачи, питающих ж/д системы с частотой $16\frac{2}{3}$ Гц

Тип питания для высоковольтных ж/д систем с частотой $16\frac{2}{3}$ Гц	Ток замыкания на землю I_{p-rw} [кА]
Питаются только преобразователями 50/16 $\frac{2}{3}$ Гц	3–5–8
Питаются генераторными установками с частотой $16\frac{2}{3}$ Гц	4–10–30

c) Ток замыкания на землю для неисправностей с высоким импедансом, I_{p-imp}

В некоторых случаях замыкание на землю в линии для сетей высокого напряжения с непосредственно заземленной нейтралью может происходить по пути высокого импеданса, например, путем дугового разряда на деревья. В этом случае ток замыкания на землю будет иметь малую величину. Такой тип неисправности не может быть обнаружен и устранен при помощи основной защиты в течение короткого промежутка времени. Таким образом, замыкание на землю по пути с высоким импедансом может иметь продолжительность несколько секунд, следовательно, применяются предельные значения для продолжительности более чем одна секунда. Ориентировочные значения для тока замыкания на землю в высоковольтных линиях I_{p-imp} для случая замыкания с высоким импедансом приводятся в таблице П.5.

Таблица П.5/К.68 – Ориентировочные значения для тока замыкания на землю в высоковольтных линиях I_{p-imp} в случае замыкания на землю по пути с высоким импедансом

	Замыкание на землю с высоким импедансом
Ток замыкания на землю, кА	1,5

d) Ток неисправности при отключении одной фазы, I_{p-off}

Высоковольтная линия для сети с непосредственно заземленной нейтралью может эксплуатироваться при таких неисправностях, когда отключается одна из фаз. Работа в режиме с одной отключенной фазой обычно ограничивается сетями, использующими уровень напряжения 110–130 кВ. (На практике это происходит тогда, когда выключатель не закрывает одну из фаз в момент включения линии.) Работа с такой неисправностью может эпизодически производиться на протяжении нескольких часов. В этом случае возврат по земле заменяет отключенную фазу, таким образом, ток на землю будет практически идентичен току, который протекает по фазам, находящимся в нормальном состоянии. При работе в режиме с одной отключенной фазой передаваемая мощность, а значит и ток, ограничиваются 70–80 процентами от разрешенной нагрузки в условиях нормальной эксплуатации.

Исходя из практических соображений, приведенные в таблице П.6 значения относятся к току повреждения в линиях, эксплуатируемых при одной отключенной фазе.

Таблица П.6/К.68 – Ориентировочные значения для тока повреждения в линии, которая эксплуатируется при одной отключенной фазе, I_{p-off}

	Передача энергии		
	Низкая (20 МВА) (Примечание)	Средняя (60 МВА) (Примечание)	Высокая (120 МВА) (Примечание)
Индуктирующий ток, А	100	300	600
ПРИМЕЧАНИЕ. – Для уровня напряжений 110–130 кВ.			

Индукция, вызванная током при отключенной фазе, должна рассматриваться как долгосрочная индукция, к которой должно применяться управляющее напряжение, относящееся к нормальным условиям эксплуатации.

П.1.3.1.1.2 Коэффициент экранирования, k_p

Экранирующие структуры, связанные с индуктирующим объектом, т. е. экранирующий провод в случае воздушных линий электропередач и оболочка для подземных силовых кабелей, служат в качестве пути возврата тока, уменьшая таким образом долю тока, которая возвращается по земле. Количественно это сокращение выражается при помощи коэффициента экранирования.

a) Коэффициент экранирования для экранирующих проводов воздушных линий электропередач

Ориентировочные значения коэффициента экранирования для экранирующего провода воздушных линий электропередач приводятся в таблице П.7.

Таблица П.7/К.68 – Ориентировочные значения для коэффициента экранирования экранирующих проводов для воздушных ЛЭП

Экранирующий провод	Сопротивление экранирующего провода(ов) [Ом/км]		
	< 0,1	< 0,5	< 1,0 (Прим.)
Одиночный	0,55–0,70	0,65–0,75	0,80–0,90
Двойной	0,40–0,50	0,5–0,65	0,65–0,75
ПРИМЕЧАНИЕ. – Состоит из стального проводника.			

b) Коэффициент экранирования оболочки высоковольтного силового кабеля

В случае высоковольтных силовых кабелей чрезвычайно большая доля тока замыкания на землю возвращается по оболочке кабеля благодаря тесной связи между проводником кабеля и оболочкой. Таким образом, оболочка высоковольтного кабеля обеспечивает очень хорошие (малые) значения для коэффициентов экранирования.

Ориентировочные значения для коэффициента экранирования оболочки высоковольтного силового кабеля приводятся в таблице П.8.

Таблица П.8/К.68 – Ориентировочные значения для коэффициента экранирования оболочки высоковольтного силового кабеля

	Тип оболочки	
	Свинцовая оболочка	Алюминиевая оболочка или оболочка из концентрических медных проводов
Коэффициент экранирования	0,15–0,25–0,30	0,04–0,1–0,15

II.1.3.1.2 Электростанции, в которых не используется непосредственно заземленная нейтраль

Во-первых, необходимо заметить, что существуют регионы, в которых в соответствии с применяемой политикой по заземлению нейтрали во всех типах сетей используется непосредственно заземленная нейтраль, например, это относится к практике в Северной Америке.

Сети, в которых не используется непосредственное заземление нейтрали, могут быть отнесены к одному из следующих трех условий:

- 1) изолированная нейтраль;
- 2) нейтраль с резонансным заземлением;
- 3) нейтраль с высокоимпедансным (обычно резистивным) заземлением.

Опция 1 обычно используется в сетях промышленных объектов и не используется в распределительных сетях общего пользования.

Опция 2 обычно используется в сельских распределительных сетях со средним уровнем напряжения, построенных на основе воздушных линий электропередач. Подобные сети могут на короткое время (несколько секунд) заземляться с помощью резистора, подключенного между нейтралью и также землей, что позволяет релейной защите проводить дифференцированную идентификацию неисправной линии.

Опция 3 используется в городских или пригородных распределительных сетях, состоящих из кабелей со средним уровнем напряжения или комбинации кабельных и воздушных линий электропередач, в которых емкостной ток замыкания на землю имеет большую величину и, следовательно, вероятность самоустранения тока замыкания на землю мала даже при использовании резонансного заземления (компенсированная сеть).

II.1.3.1.2.1 Индуцирующий ток

a) Ток замыкания на землю, I_{p-sef}

Замыкание на землю является типичной неисправностью в сетях, где не используется непосредственное заземление нейтрали. Такая неисправность не является коротким замыканием, таким образом, величина тока, связанного с такой неисправностью, даже меньше, чем величина рабочего тока. Особенно это справедливо в отношении сетей с резонансным заземлением. Следовательно, мы не будем рассматривать индукцию под влиянием тока неисправности при замыкании на землю для сетей с резонансным заземлением.

Ток неисправности при замыкании на землю в сетях с высокоимпедансным/резистивным заземлением также имеет малую величину. Его значение определяется значением импеданса заземления, расстоянием от места неисправности до питающей подстанции и значением импеданса неисправности (дуговой разряд или сопротивление заземления). В таблице II.9 приводятся ориентировочные значения для тока замыкания на землю в сетях с высокоимпедансным/резистивным заземлением.

Продолжительность замыкания на землю составляет менее одной секунды, следовательно применяются значения управляющего напряжения с продолжительностью до одной секунды.

Таблица II.9/К.68 – Ориентировочные значения для тока замыкания на землю I_{p-sef} в сетях с высокоимпедансным/резистивным заземлением

Значение импеданса/сопротивления заземления нейтрали	Ток замыкания на землю I_{p-sef} [A]
Высокое смешанные воздушные и кабельные сети	70–100–150
Умеренно высокое кабельные сети	150–250–400

b) Ток неисправности при двойном замыкании на землю, I_{p-dbf}

Двойное замыкание, т. е. одновременное замыкание на землю двух фаз в различных местах, встречается менее часто, однако в такой ситуации возникает гораздо более высокий ток повреждения. В этом случае составляющая нулевой последовательности тока возвращается по пути заземления между двумя точками, в которых возникли неисправности. Величина двойного замыкания на землю определяется следующим:

- 1) мощностью подстанции, которая питает место неисправности, при возникновении короткого замыкания (максимальное значение тока двойного замыкания на землю может в принципе составлять 86% от тока короткого замыкания для трех фаз);
- 2) импедансом, в расчете на единицу длины, для линии электропередачи, затронутой в тракте неисправности;
- 3) расстоянием между точками, где произошли неисправности;
- 4) импедансом замыкания (дуговой разряд плюс сопротивление заземления) в точках неисправности (это может иметь важное значение в тех случаях, когда неисправности происходят в верхних проводах воздушных линий электропередач, не оборудованных защитным проводом).

Ориентировочные значения для тока двойного замыкания на землю I_{p-dbf} в сетях, в которых не используется непосредственное заземление нейтрали, приводятся в таблице II.10.

Таблица II.10/К.68 – Ориентировочные значения тока двойного замыкания I_{p-dbf} для сетей, в которых не используется непосредственное заземление нейтрали

	Тип линии с неисправностью	
	Воздушная	Кабельная
Ток двойного замыкания на землю [кА]	1–2,5–5	2–4–7

Обычно двойное замыкание на землю устраняется за короткое время ($t < 0,2$ с), за исключением тех случаев, когда ток двойного замыкания на землю имеет малую величину ($I_{p-dbf} < 1,5$ кА) – в этом случае время отключения может составлять несколько секунд. Таким образом, применяются значения предельного напряжения с продолжительностью более одной секунды.

II.1.3.1.2.2 Коэффициент экранирования для оболочки силовых кабелей среднего напряжения

В таблице II.11 приводятся ориентировочные значения для коэффициента экранирования оболочки силовых кабелей среднего напряжения.

Таблица II.11/К.68 – Ориентировочные значения для коэффициента экранирования оболочки силовых кабелей среднего напряжения

Тип оболочки	Коэффициент экранирования, k_p
Тонкая алюминиевая фольга	0,7–0,8–0,9
Свинцовая оболочка	0,4–0,5–0,6
Алюминиевая оболочка или экран из концентрических медных проводов	0,15–0,2–0,3

II.1.3.2 Ориентировочные значения для электрических тяговых объектов переменного тока

II.1.3.2.1 Рабочий ток

В случае электрифицированных тяговых подстанций переменного тока отношение тока короткого замыкания к максимальному значению рабочего тока обычно меньше, чем отношение управляющего напряжения для краткосрочной или долгосрочной индукции. Следовательно, эталонное расстояние воздействия для индуктивной связи должно определяться на основании рассмотрения индукции для рабочего тока.

Ориентировочные значения для рабочего тока I_{p-rw} электрифицированных железнодорожных систем переменного тока приводятся в таблице П.12. Эти значения токов относятся к пиковой тяговой мощности, приблизительно равной 20 000 кВА.

Таблица П.12/К.68 – Ориентировочные значения для рабочего тока I_{p-rw} в электрифицированных железнодорожных системах переменного тока

Система питания	Рабочий ток [А]	
	Питание с одной стороны	Питание с двух сторон
16⅔ Гц, 15 кВ	(600)	1 200
50 Гц, 25 кВ	800	–

П.1.3.2.2 Псофометрический ток

В таблице П.13 приводятся ориентировочные значения псофометрического тока I_{p-ps} для электрифицированных железнодорожных систем переменного тока.

Таблица П.13/К.68 – Псофометрический ток I_{p-ps} для электрифицированных железнодорожных систем переменного тока

Тип тяговой единицы	Эквивалентный ток возмущения (псофометрический) [А]
Единица, оснащенная преобразователем частоты и асинхронным электродвигателем	1,5
Диодный (тиристорный) локомотив, оснащенный фильтром	4
Смешанный локомотив на основе диодов с тиристорным управлением, который не использует фильтр	16

Индуктивная связь, вызванная псофометрическим током, относится только к сетям доступа, т. е. к коротким линиям.

П.1.3.2.3 Коэффициент экранирования для возврата тока через рельсы

В случае простой системы питания, которая использует рельсы и землю, ориентировочные значения для коэффициента экранирования рельс k_{p-r} для электрифицированной железнодорожной системы переменного тока с возвратом тока по рельсам и земле приводятся в таблице П.14.

Таблица П.14/К.68 – Ориентировочные значения для коэффициента экранирования рельс k_{p-r} в электрифицированной железнодорожной системе переменного тока с возвратом тока по рельсам и по земле (система RR)

Система питания	Рабочая частота [Гц]		
	16⅔	50 или 60	800
Коэффициент экранирования (Примечание)	0,4	0,50	0,55
ПРИМЕЧАНИЕ. – Единственная линия пути с двумя рельсами возврата.			

П.1.3.2.4 Эквивалентный компенсирующий коэффициент для специальных питающих систем

Специальные железнодорожные питающие системы, такие как система с бустерным (повышающим) трансформатором и возвратом тока по рельсам (BTRR) или с обратным проводом (BTRC), а также автотрансформаторные системы (АТ), позволяют уменьшить эффект индукции с помощью использования достаточно сложного механизма.

Значение коэффициента компенсации, которое применяется к секции индуктирующей линии, расположенной между двумя соседними ВТ или АТ, различается для следующих двух случаев:

- 1) индуктирующая секция расположена внутри секции, где находится поезд.
- 2) индуктирующая секция расположена за пределами секции, где находится поезд.

Ориентировочные значения коэффициентов компенсации для специальных систем питания приводятся в таблице II.15.

Таблица II.15/К.68 – Ориентировочные значения коэффициентов компенсации для специальных систем питания

Индуктирующий ток	Частота [Гц]	Коэффициент компенсации k_p	
		Индуктируемая длина	
		Внутри секции, где находится поезд	Вне секции, где находится поезд
Основная частота	16 $\frac{2}{3}$	0,1	0,04
	50	0,15	0,05
Псофометрическая	(800)	0,25	0,06

II.1.4 Величины, которые характеризуют индуктируемый объект

II.1.4.1 Коэффициент экранирования для индуктируемых кабелей электросвязи

С точки зрения определения эталонного расстояния воздействия коэффициент экранирования k_i для трех типов оболочки индуктируемых кабелей электросвязи приводится в таблице II.16.

Коэффициент экранирования для линии с открытыми проводами или для кабелей без оболочки равняется 1.

Таблица II.16/К.68 – Ориентировочные значения коэффициента экранирования k_i для оболочки индуктируемых кабелей электросвязи

	Тип оболочки		
	Пластиковая оболочка с тонкой алюминиевой фольгой $R_{dc} > 2,5$ Ом/км	Свинцовая оболочка $R_{dc} < 0,5$ Ом/км	Алюминиевая оболочка или экран из концентрических медных проводов $R_{dc} < 0,1$ Ом/км
Коэффициент экранирования	$> 0,9$	$< 0,5$	$< 0,15$

II.1.4.2 Эталонная длина индуктируемой линии

В таблице II.17 приводятся ориентировочные значения эталонной длины l_m для индуктируемых кабелей электросвязи для различных типов сетей электросвязи.

Таблица II.17/К.68 – Ориентировочные значения индуктируемых длин l_m для различных типов индуктируемых кабелей электросвязи

Окружение	Индуктируемая длина [км]	
	Тип сети электросвязи	
	Линии небольшой протяженности (например, сети доступа) (Примечание)	Линии большой протяженности (например, сеть дальней связи)
Сельские районы	3–5–7	10–15–20
Городские районы	1–3–5	5–10–15
ПРИМЕЧАНИЕ. – Применимо только для коротких секций ж/д кабелей, на которые воздействует индукция со стороны систем питания ВТ или АТ.		

II.2 Значения параметров, используемых при оценке RID: индуктивная связь

На основании ориентировочных значений, которые приводятся в II.1, приведенные в 5.2 значения RID были проверены с использованием следующих значений параметров:

- Городской фактор k_u , который характеризует общий эффект экранирования благодаря окружению:
 - для сельских районов: $k_u = 1$
 - для городских районов: $k_u = 0,45$ для $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
 $k_u = 0,35$ для $\rho = 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
 $k_u = 0,25$ для $\rho = 5000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
- Индуктируемая длина l_m :
 - для коротких линий в сельских районах: $l_m = 5 \text{ км}$
 - для коротких линий в городских районах: $l_m = 3 \text{ км}$
 - для протяженных линий в сельских районах: $l_m = 15 \text{ км}$
 - для протяженных линий в городских районах: $l_m = 10 \text{ км}$
- Классы удельного сопротивления земли:
 - для классов с малым удельным сопротивлением: $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
 - для классов со средним удельным сопротивлением: $\rho = 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
 - для классов с высоким удельным сопротивлением: $\rho = 5000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
- Коэффициент экранирования для индуктирующего объекта k_p :
 - Высоковольтная линия электропередач переменного тока:
 - надземная с частотой 50/60 Гц: $k_p = 0,5$
 - подземная с частотой 50/60 Гц: $k_p = 0,1$
 - надземная с частотой $16\frac{2}{3}$ Гц: $k_p = 0,75$
 - Линия электропередач переменного тока среднего напряжения:
 - надземная с частотой 50/60 Гц: $k_p = 1$
 - подземная с частотой 50/60 Гц: $k_p = 0,5$
 - тяговая линия переменного тока:
 - надземная с возвратом по рельсам, система питания 50 Гц: $k_p = 0,5$
 - надземная с возвратом по рельсам, система питания $16\frac{2}{3}$ Гц: $k_p = 0,4$
 - надземная с возвратом по рельсам, система питания 800 Гц: $k_p = 0,55$
 - надземная со специальной системой питания $16\frac{2}{3}$ Гц: $k_p = 0,1$
 - надземная со специальной системой питания 50 Гц: $k_p = 0,15$
 - надземная со специальной системой питания 800 Гц: $k_p = 0,25$
- Коэффициент экранирования для индуктируемого объекта k_t :
 - неэкранированная линия $k_t = 1$

Значения индуктирующего тока оценивались для реалистичных, наименее благоприятных условий работы электроэнергетических систем переменного тока или электрифицированных тяговых систем переменного тока; эти значения приводятся в таблице II.18 вместе с соответствующими значениями управляющего напряжения U_m .

ПРИМЕЧАНИЕ. – Предполагается, что кривые, показанные на рисунке А.1, верны также и для частоты 60 Гц.

Таблица П.18/К.68 – Значения управляющего напряжения и индуктирующего тока для оценки RID

Система энергоснабжения переменного тока с частотой 50/60 Гц	Ситуация	Um [В]	Ip [кА]	Замечание
Высоковольтная сеть с непосредственно заземленной нейтралью	Типичная	1000	10	Равные или менее сложные условия по сравнению с условиями для замыкания на землю с высоким импедансом
	Тяжелая	430		
Замыкание на землю с высоким импедансом для высоковольтной сети с непосредственно заземленной нейтралью	Типичная	150	1,5	Вычисленные значения RID, которые приводятся в 5.2
	Тяжелая	60		
Условие, когда отключена одна из фаз высоковольтной сети с непосредственно заземленной нейтралью	Типичная/тяжелая	60	0,3	Менее сложное условие
Замыкание на землю сети среднего напряжения, которая не использует нейтраль с непосредственным заземлением: надземная линия	Типичная	430	0,1	Рассчитанные значения RID приводятся в 5.2
	Тяжелая	300		
Замыкание на землю для сети среднего напряжения, которая не использует непосредственное заземление нейтрали: подземная линия	Типичная	430	0,25	Менее тяжелые условия по сравнению с подземной линией
	Тяжелая	300		
Двойное замыкание на землю сети среднего напряжения, которая не использует нейтраль с непосредственным заземлением: надземная линия	Типичная	430	2,5	Условия не рассматриваются по причине малой вероятности возникновения такого события
	Тяжелая	300		
Двойное замыкание на землю сети среднего напряжения, которая не использует нейтраль с непосредственным заземлением: подземная линия	Типичная	430	4	
	Тяжелая	300		
Система энергоснабжения переменного тока с частотой 16⅔ Гц				
Ток КЗ фаза-земля для высоковольтных (2х65 кВ) ж/д сетей с частотой 16⅔ Гц, которые используют непосредственное заземление средней точки	Типичная	1000	5	Только надземные линии в сельских районах
	Тяжелая	300		
Тяговая система переменного тока				
Рабочий ток электрифицированной тяговой линии	Типичная/тяжелая	60	1,2	Система с частотой 16⅔ Гц
			0,8	Система с частотой 50 Гц
Псофометрический ток (800 Гц) тяговой единицы, оснащенной частотным преобразователем и асинхронным электродвигателем	Типичная/тяжелая	0.2	0,0015	Менее тяжелые условия по сравнению с индукцией на частоте сети
Псофометрический ток (800 Гц) для диодного (тиристорного) локомотива, оснащенного фильтром			0,004	Более тяжелые условия по сравнению с индукцией на частоте сети
Псофометрический ток (800 Гц) для смешанного тиристорного управления и диодного локомотива, который не использует фильтра			0,015	Более тяжелые условия по сравнению с индукцией на частоте сети

П.3 Значения параметров для оценки RID: гальваническая связь

На основании ориентировочных значений, которые приводятся в П.1, была выполнена оценка значений RID, приведенных в пункте 5.2.4, с использованием следующих значений параметров:

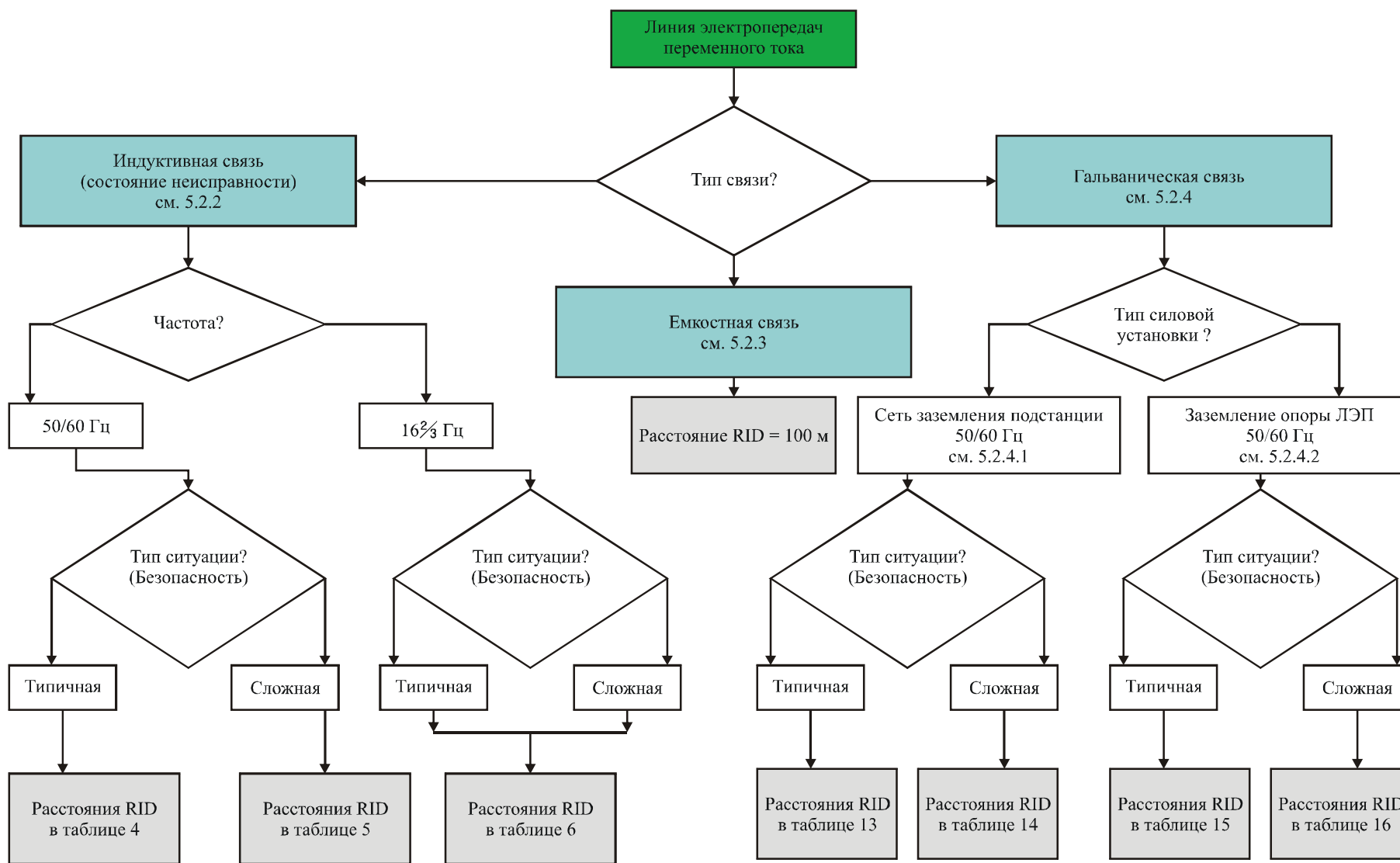
- Городской фактор k_u , который характеризует общий эффект экранирования окружением:
 - для сельских районов: $k_u = 1$
 - для городских условий: $k_u = 0,45$ для $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
 $k_u = 0,35$ для $\rho = 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
 $k_u = 0,25$ для $\rho = 5000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
- Классы сопротивления земли:
 - для классов с низким сопротивлением: $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
 - для классов с умеренным сопротивлением: $\rho = 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
 - для классов с высоким сопротивлением: $\rho = 5000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
- Подстанции:
 - размеры сети заземления и соответствующий ток неисправности:
 - $A = 225 \text{ м}^2$ $I_p = 10 \text{ кА}$
 - $A = 2500 \text{ м}^2$ $I_p = 15 \text{ кА}$
 - $A = 22\,500 \text{ м}^2$ $I_p = 20 \text{ кА}$
- Опора ЛЭП:
 - ток неисправности в 10 кА, связанный с следующими значениями сопротивления заземления для опоры:
 - $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ $R_E = 8 \text{ Ом}$
 - $\rho = 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ $R_E = 25 \text{ Ом}$
 - $\rho = 5000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ $R_E = 50 \text{ Ом}$
- Коэффициент экранирования для индуцирующего объекта k_p :
 - высоковольтная линия электропередач переменного тока:
 - Надземная при 50/60 Гц: $k_p = 0,5$
 - Смешанная (надземная и подземная) при 50/60 Гц: $k_p = 0,2$
 - Подземная при 50/60 Гц: $k_p = 0,1$
 - Надземная при 16 $\frac{2}{3}$ Гц: $k_p = 0,75$
- Рабочий ток I_p :
 - тяговая система переменного тока:
 - Рабочий ток при 50 Гц: $I_p = 800 \text{ А}$
 - Рабочий ток при 16 $\frac{2}{3}$ Гц: $I_p = 1200 \text{ А}$

ПРИМЕЧАНИЕ. – Одинаковые значения рабочего тока используются как для простой системы питания, так и для специальной системы питания.
- Управляющее напряжение U_m :
 - Линия электропередач 50/60 Гц для типичных ситуаций: $U_m = 1000 \text{ В}$
 - Линия электропередач 50/60 Гц для тяжелых ситуаций: $U_m = 430 \text{ В}$
 - Тяговая линия 50/60 Гц или 16 $\frac{2}{3}$ Гц как для типичных, так и для тяжелых ситуаций: $U_m = 60 \text{ В}$
- Коэффициент экранирования для индуцируемого объекта k_t :
 - Неэкранированная линия $k_t = 1$

Дополнение III

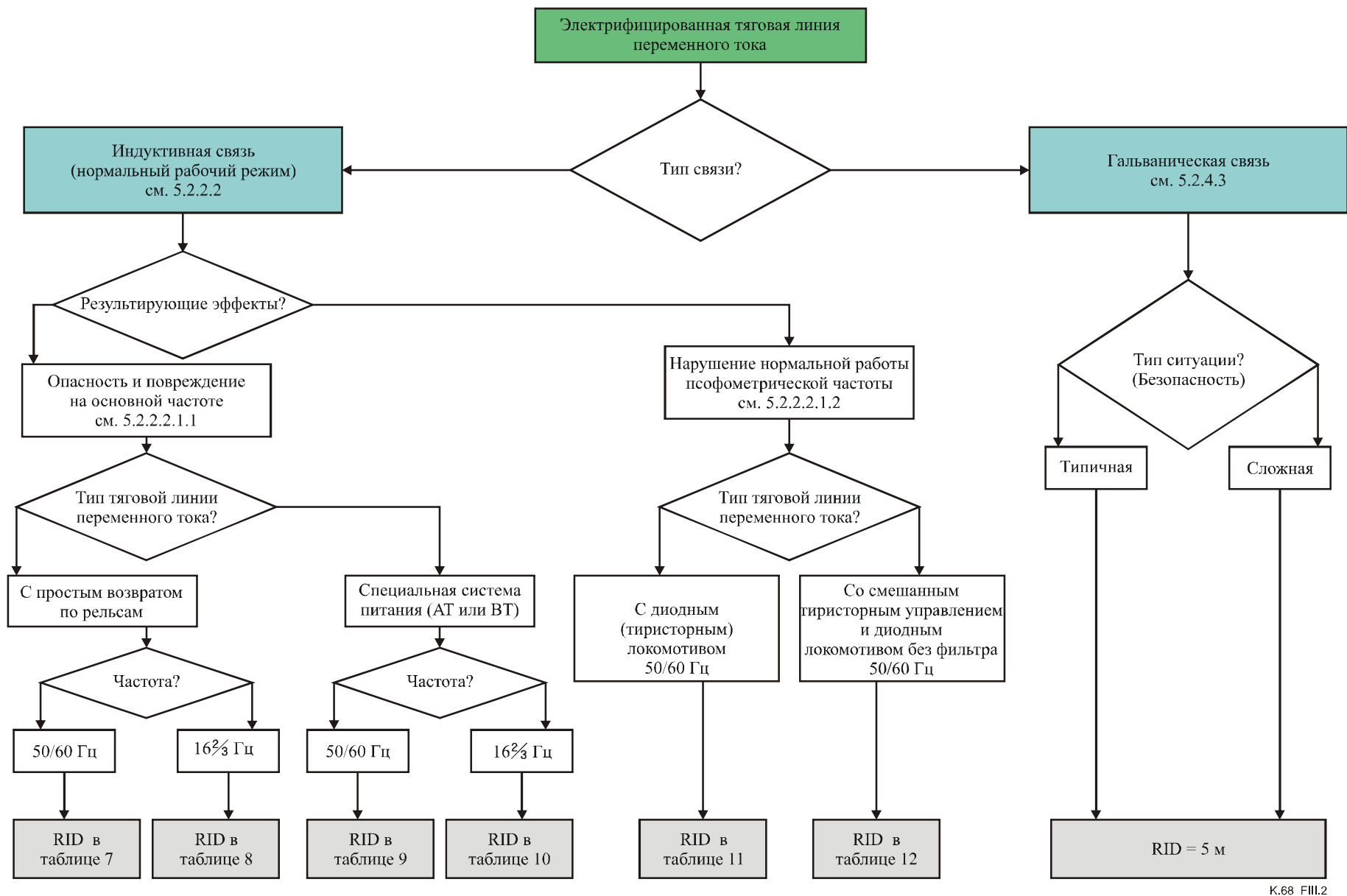
Этапы определения значений RID для линий электропередач переменного тока или электрифицированных тяговых линий переменного тока

На рисунках III.1 и III.2 показаны этапы определения расстояния RID соответственно для линий электропередач переменного тока и электрифицированных тяговых линий переменного тока.



K.68_FIII.1

Рисунок III.1/К.68 – Диаграмма для определения расстояния RID для линии электропередач переменного тока



K.68_FIII.2

Рисунок III.2/K.68 – Диаграмма определения значений RID для электрифицированной тяговой системы переменного тока

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи