



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلًا.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МККТТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ
ПО ТЕЛЕФОНИИ И ТЕЛЕГРАФИИ

КРАСНАЯ КНИГА

ТОМ IX

ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

РЕКОМЕНДАЦИИ СЕРИИ K

КОНСТРУКЦИЯ, ПРОКЛАДКА
И ЗАЩИТА КАБЕЛЕЙ И ДРУГИХ
ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНЕЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ СЕРИИ L



VIII ПЛЕНАРНАЯ АССАМБЛЕЯ

МАЛАГА-ТОРРЕМОЛИНОС, 8—19 ОКТЯБРЯ 1984 ГОДА



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МККТТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ
ПО ТЕЛЕФОНИИ И ТЕЛЕГРАФИИ

КРАСНАЯ КНИГА

ТОМ IX

ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

РЕКОМЕНДАЦИИ СЕРИИ K

КОНСТРУКЦИЯ, ПРОКЛАДКА
И ЗАЩИТА КАБЕЛЕЙ И ДРУГИХ
ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНЕЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ СЕРИИ L



VIII ПЛЕНАРНАЯ АССАМБЛЕЯ

МАЛАГА-ТОРРЕМОЛИНОС, 8—19 ОКТЯБРЯ 1984 ГОДА

ISBN 92-61-02374-6

**СОДЕРЖАНИЕ КНИГИ МККТТ,
ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ПОСЛЕ ВОСЬМОЙ ПЛЕНАРНОЙ АССАМБЛЕИ (1984)**

КРАСНАЯ КНИГА

- Том I** — Протоколы и отчеты Пленарной ассамблеи.
- Пожелания и резолюции.
- Рекомендации по:
- организации и процедурам работы МККТТ (серия А);
 - средствам выражения (серия В);
 - общей статистике электросвязи (серия С).
- Перечень исследовательских комиссий и изучаемых вопросов.
-
- Том II** — *(5 выпусков, продаваемые отдельно)*
- ВЫПУСК II.1** — Общие принципы тарификации — таксация и расчеты за услуги международных служб электросвязи. Рекомендации серии D (Исследовательская комиссия III).
- ВЫПУСК II.2** — Международная телефонная служба — Общая эксплуатация. Рекомендации E.100—E.323 (Исследовательская комиссия II).
- ВЫПУСК II.3** — Международная телефонная служба — Управление сетью — Расчет нагрузки. Рекомендации E.401 — E.600 (Исследовательская комиссия II).
- ВЫПУСК II.4** — Телеграфные службы — Общая эксплуатация и качество обслуживания. Рекомендации F.1 — F.150 (Исследовательская комиссия I).
- ВЫПУСК II.5** — Телематические службы — Общая эксплуатация и качество обслуживания. Рекомендации F.160 — F.350 (Исследовательская комиссия I).
-
- Том III** — *(5 выпусков, продаваемые отдельно)*
- ВЫПУСК III.1** — Общие характеристики международных телефонных соединений и каналов. Рекомендации G.101 — G.181 (Исследовательские комиссии XV, XVI и CMBD).
- ВЫПУСК III.2** — Международные аналоговые системы передачи. Среда передачи — характеристики. Рекомендации G.211 — G.652 (Исследовательская комиссия XV и CMBD).
- ВЫПУСК III.3** — Цифровые сети — системы передачи и оборудование группообразования. Рекомендации G.700 — G.956 (Исследовательские комиссии XV и XVIII).
- ВЫПУСК III.4** — Передача по линии нетелефонных сигналов. Передача сигналов звукового и телевизионного вещания. Рекомендации серии H, J (Исследовательская комиссия XV).
- ВЫПУСК III.5** — Цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС). Рекомендации серии I (Исследовательская комиссия XVIII).

- Том IV — (4 выпуска, продаваемые отдельно)
- ВЫПУСК IV.1 — Техническая эксплуатация: общие принципы, международные системы передачи, международные телефонные каналы. Рекомендации M.10 — M.762 (Исследовательская комиссия IV).
- ВЫПУСК IV.2 — Техническая эксплуатация: международные каналы тонального телеграфирования и факсимиле, международные арендованные каналы. Рекомендации M.800 — M.1375 (Исследовательская комиссия IV).
- ВЫПУСК IV.3 — Техническая эксплуатация: международные каналы передачи звукового и телевизионного вещания. Рекомендации серии N (Исследовательская комиссия IV).
- ВЫПУСК IV.4 — Требования к измерительным приборам. Рекомендации серии O (Исследовательская комиссия IV).
- Том V — Качество телефонной передачи. Рекомендации серии P (Исследовательская комиссия XII).
- Том VI — (13 выпусков, продаваемые отдельно)
- ВЫПУСК VI.1 — Общие Рекомендации по телефонной коммутации и сигнализации. Стыки с морскими и сухопутными подвижными службами. Рекомендации Q.1 — Q.118 bis (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.2 — Требования к системам сигнализации № 4 и 5. Рекомендации Q.120 — Q.180 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.3 — Требования к системе сигнализации № 6. Рекомендации Q.251 — Q.300 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.4 — Требования к системам сигнализации R1 и R2. Рекомендации Q.310 — Q.490 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.5 — Цифровые транзитные станции в интегральных цифровых сетях и смешанных аналого-цифровых сетях. Местные и смешанные цифровые станции. Рекомендации Q.501 — Q.517 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.6 — Взаимодействие систем сигнализации. Рекомендации Q.601 — Q.685 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.7 — Требования к системе сигнализации № 7. Рекомендации Q.701 — Q.714 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.8 — Требования к системе сигнализации № 7. Рекомендации Q.721 — Q.795 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.9 — Система сигнализации при цифровом доступе. Рекомендации Q.920 — Q.931 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.10 — Язык функциональной спецификации и описания (SDL). Рекомендации Z.101 — Z.104 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.11 — Язык функциональной спецификации и описания (SDL), приложения к Рекомендациям Z.101 — Z.104 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.12 — Язык МККТТ высокого уровня (CHILL). Рекомендация Z.200 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.13 — Язык взаимодействия „человек — машина” (MML). Рекомендация Z.301—Z.341 (Исследовательская комиссия XI).

- Том VII** — (3 выпуска, продаваемые отдельно)
- ВЫПУСК VII.1** — Телеграфная передача. Рекомендации серии R (Исследовательская комиссия IX). Оконечное оборудование телеграфных служб. Рекомендации серии S (Исследовательская комиссия IX).
- ВЫПУСК VII.2** — Телеграфная коммутация. Рекомендация серии U (Исследовательская комиссия IX).
- ВЫПУСК VII.3** — Оконечное оборудование и протоколы для телематических служб. Рекомендации серии T (Исследовательская комиссия VIII).
- Том VIII** — (7 выпусков, продаваемые отдельно)
- ВЫПУСК VIII.1** — Передача данных по телефонной сети. Рекомендации серии V (Исследовательская комиссия XVII).
- ВЫПУСК VIII.2** — Сети передачи данных: службы и услуги. Рекомендации X.1—X.15 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.3** — Сети передачи данных: стыки. Рекомендации X.20—X.32 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.4** — Сети передачи данных: передача, сигнализация и коммутация, сетевые аспекты, техническая эксплуатация и административные предписания. Рекомендации X.40—X.181 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.5** — Сети передачи данных: взаимосвязь открытых систем (ВОС), методы описания систем. Рекомендации X.200—X.250 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.6** — Сети передачи данных: взаимодействие между сетями, подвижные системы передачи данных. Рекомендации X.300—X.353 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.7** — Сети передачи данных: системы обработки сообщений. Рекомендации X.400—X.430 (Исследовательская комиссия VII).
- Том IX** — Защита от помех. Рекомендации серии K (Исследовательская комиссия V). Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейного оборудования. Рекомендации серии L (Исследовательская комиссия VI).
- Том X** — (2 выпуска, продаваемые отдельно)
- ВЫПУСК X.1** — Термины и определения.
- ВЫПУСК X.2** — Указатель Красной книги.
-

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

СОДЕРЖАНИЕ ТОМА IX КРАСНОЙ КНИГИ

ЧАСТЬ I — Рекомендации серии К

Защита от помех

Рек. №		Стр.
К.1	Заземление кабельной телефонной цепи тональной частоты	3
К.2	Защита систем дистанционного питания промежуточных усилителей от влияния соседних линий электропередачи	4
К.3	Помехи, вызываемые сигналами тональной частоты, вводимыми в электрическую распределительную сеть	4
К.4	Помехи при передаче сигналов	4
К.5	Совместное использование опор для линий электросвязи и электропередачи	5
К.6	Меры предосторожности, принимаемые на пересечениях линий электросвязи и электропередачи	5
К.7	Защита от акустического удара	7
К.8	Расстояния в земле между сооружениями электросвязи и электросети	7
К.9	Защита персонала и установок электросвязи от высоких градиентов потенциала земли, возникающих из-за влияния соседней линии электротяги	9
К.10	Асимметрия установок электросвязи относительно земли	10
К.11	Принципы защиты от перенапряжений и избыточных токов	16
К.12	Характеристики газонаполненных разрядников, предназначенных для защиты установок электросвязи	24
К.13	Напряжения, индуцируемые в кабелях с пластмассовой изоляцией жил	36
К.14	Применение металлического экрана в кабелях с пластмассовой оболочкой	37
К.15	Защита систем дистанционного питания и линейных усилителей от ударов молнии и помех от соседних линий электропередачи	43
К.16	Упрощенный метод расчета для оценки магнитного влияния линий электропередачи на промежуточные усилители с дистанционным питанием по коаксиальным парам в системах электросвязи	46
К.17	Испытания полупроводниковых промежуточных усилителей с дистанционным питанием с целью проверки схем защиты от внешних влияний	68
К.18	Расчет напряжений, индуцируемых в линиях электросвязи радиовещательными станциями, и методы снижения помех	75
К.19	Совместная прокладка кабелей электросвязи и силовых кабелей в траншеях и туннелях	91
К.20	Стойкость коммутационного оборудования электросвязи к перенапряжениям и избыточным токам	92

ЧАСТЬ II — Рекомендации серии L

Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейного оборудования

Рек. №		Стр.
L.1	Защита от коррозии	103
L.2	Пропитка деревянных опор	103
L.3	Бронепокров кабелей	103
L.4	Алюминевая кабельная оболочка	105
L.5	Металлические оболочки кабелей, кроме свинцовых или алюминиевых	108
L.6	Методы содержания кабелей под газовым давлением	109
L.7	Применение совместной катодной защиты	109
L.8	Коррозия, вызываемая переменным током	111

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

1 Вопросы, порученные каждой Исследовательской комиссии на исследовательский период 1985—1988 годов, содержатся в Документе № 1 для данной Исследовательской комиссии.

2 В данном томе для краткости термин „Администрация” используется для обозначения как администрации электросвязи, так и признанной частной эксплуатационной организации.

ЧАСТЬ I

Рекомендации серии К

ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

(В Рекомендациях данной серии часто даются ссылки на *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи*. Первоначально *Директивы* были опубликованы в 1963 году в виде брошюры с заменяемыми листами; изменения внесены в 1965, 1974, 1978 и 1982 годах.)

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ¹

Рекомендация К.1 (Дели, 1960 г.)

ЗАЗЕМЛЕНИЕ КАБЕЛЬНОЙ ТЕЛЕФОННОЙ ЦЕПИ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

Введение

На современном этапе технического развития кабели конструируются таким образом, что емкости различных цепей тональной частоты очень точно отсимметрированы относительно оболочки.

Для цепей, не имеющих несимметричных подключений к заземляющим устройствам, этой симметрии емкостей достаточно.

Однако при наличии заземлений даже при очевидной симметрии возникает опасность появления несимметрии индуктивностей и сопротивлений цепи, на которой эти заземления осуществляются.

Электрическая прочность между жилами кабеля значительно меньше, чем между жилами и оболочкой. Поэтому в том случае, когда кабель находится под воздействием значительных индуцированных электродвижущих сил (эдс), заземление некоторых жил может вызвать пробой разделяющего их диэлектрика.

Если пупинизированный кабель подвергается воздействию большой индуктивной эдс, наличие соединений с заземляющими устройствами способствует возникновению тока, величина которого в ряде случаев может значительно превысить предельные значения, при которых происходит ухудшение магнитных свойств пупиновских катушек.

Учитывая вышеизложенное, МККТТ единодушно рекомендует:

Не заземлять провода цепи тональной частоты, если все обмотки линейных трансформаторов не имеют постоянных соединений с оболочкой через низкоомные сопротивления на одном или обоих концах кабеля.

Как правило, желательно не делать никаких заземлений любой установки (телефонной или телеграфной), включенной непосредственно в кабельную линию связи большой протяженности.

Если по особым причинам приходится заземлять установку, непосредственно включенную в цепь тональной частоты, то следует принимать следующие меры предосторожности:

- а) заземление должно производиться таким образом, чтобы не нарушалась симметрия цепи относительно земли и соседних цепей;
- б) напряжение пробоя всех других жил кабеля по отношению к жилам заземляемой цепи должно значительно превышать самое большое напряжение, которое может возникнуть вследствие влияния соседних линий электропередачи между жилами кабеля и жилами заземляемой цепи;
- в) если установка, включенная в кабель, является телеграфной, то необходимо соблюдать Рекомендации МККТТ, касающиеся одновременно телефонной и телеграфной передачи (Рекомендации серии Н).

¹ См. также руководство МККТТ „Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи“, МСЭ, Женева, 1963, 1965, 1974, 1978, 1982 годы. В Рекомендациях данной серии упомянутое руководство для краткости именуется „Директивами“. Цифра в скобках служит ссылкой на определенный раздел „Директив“.

ЗАЩИТА СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ОТ ВЛИЯНИЯ СОСЕДНИХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Для предотвращения влияния магнитной или гальванической связи на цепи дистанционного питания промежуточных усилителей МККТТ рекомендует применять, по возможности, такую систему дистанционного питания, чтобы цепь, по которой протекают токи дистанционного питания (включая подсоединенные к ней устройства), оставалась симметричной относительно оболочки и земли.

ПОМЕХИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ СИГНАЛАМИ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ, ВВОДИМЫМИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ

Сигналы тональной частоты, вводимые в электрическую распределительную сеть для целей телеуправления, могут оказывать влияние на соседние линии электросвязи.

Расчет указанного влияния можно производить с помощью формул, приведенных в *Директивах*. Для этого определяются значения эквивалентных напряжений и токов рассматриваемых сигналов тональной частоты.

ПОМЕХИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛОВ

Чтобы уменьшить помехи, создаваемые электрическими линиями переменного или постоянного тока в линиях проводной электросвязи (воздушные линии, подвесные или подземные кабели, комбинированные линии) при передаче по ним сигналов постоянного тока или тока промышленной частоты, следует рассмотреть возможность применения одного или нескольких из описанных ниже методов в каждом случае, когда такие помехи возможны или уже имеют место:

- разработка и применение систем электросвязи:
 - a) в которых при любых условиях, даже при переключениях (см. [1]), сохраняется симметрия цепи передачи сигналов относительно земли;
 - b) которые, будучи симметричными, нечувствительны к помехам, возникающим за счет продольных токов, появляющихся вследствие прямого или косвенного заземления;
- выбор места для заземляющих устройств телефонных станций по возможности дальше от линий электропередачи, а также от заземляющих устройств линий электропередачи;
- применение мер по ограничению индуктированных токов (использование телефонных кабелей с низким коэффициентом экранирования, бустерных трансформаторов на однофазных линиях электропередачи и т. д.), которые облегчают применение существующих систем передачи сигналов;
- применение нейтрализующих трансформаторов или активных редуцирующих устройств в цепях электросвязи для компенсации токов, создаваемых индуктированными напряжениями;
- применение резонансных контуров с целью обеспечения большого полного сопротивления на частоте тока, создающего помехи.

Примечание. — В Директивах по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи указано, предельное значение 60 В для индуцированного напряжения в линиях электросвязи. Это значение относится исключительно к обеспечению безопасности персонала и не должно рассматриваться как гарантия от помех в системах передачи сигналов. В случае несимметричных систем передачи сигналов относительно земли подобные помехи могут возникать под влиянием значительно меньших напряжений, чем указано в [2].

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи”, глава XVI, МСЭ, Женева, 1963, 1965, 1974, 1978, 1982 годы.
- [2] Там же, глава V, раздел 3.

Рекомендация К.5 (Женева, 1964 г.)

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПОР ДЛЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Администрациям, желающим использовать одни и те же опоры для проводных или кабельных воздушных линий электросвязи и для линий электропередачи, если это допускается национальными законодательствами и правилами, рекомендуется учитывать следующие общие положения:

- 1) Совместное использование опор воздушных линий Администрациями связи и ведомствами по распределению электроэнергии является выгодным по соображениям эстетики и экономики.
- 2) При использовании соответствующих методов совместной прокладки таких линий существует большая вероятность, по сравнению с обычными методами прокладки линий, снижения безопасности работы персонала, обслуживающего как линию электросвязи, так и подключенную к ней установку. В этом случае желательно иметь специально обученный персонал, особенно для работы на высоковольтной линии электропередачи.
- 3) Следует точно выполнять требования *Директив*, касающиеся опасных ситуаций, помех, безопасности персонала и т. д. (см. [1]).
- 4) Желательно, чтобы в случае совместного использования опор между заинтересованными Администрациями связи и ведомствами по распределению электроэнергии были заключены специальные соглашения, определяющие сферы их ответственности.
- 5) При совместной подвеске линий на участках небольшой протяженности (например, порядка 1 км) в большинстве случаев достаточно принятия простых мер предосторожности, чтобы магнитные и электрические помехи были в допустимых пределах.

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи”, главы IV, V и XX, МСЭ, Женева, 1963, 1965, 1974, 1978, 1982 годы.

Рекомендация К.6 (Женева, 1964 г.)

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ, ПРИНИМАЕМЫЕ НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Введение

Пересечения воздушных линий электросвязи с линиями электропередачи создают опасность для работы обслуживающего персонала и оборудования.

Компетентными органами разных стран разработаны соответствующие меры, которые включены в национальные правила. Часто эти правила разноречивы, а эффективность принимаемых мер недостаточно высока.

С учетом современного развития техники и опыта разных стран для МККТТ, во-видимому, пришло время разработать Рекомендацию по наиболее эффективным мерам обеспечения безопасности. На базе этой Рекомендации страны смогут выработать или пересмотреть свои национальные правила.

Следовательно, при пересечении воздушной линии электросвязи с линией электропередачи рекомендуется применять один из двух следующих методов: заменить в месте пересечения воздушную линию подземным кабелем или оставить ее воздушной.

1 Воздушная линия заменяется подземным кабелем

Этот метод нельзя рекомендовать во всех случаях, так как при обрыве и падении провода линии электропередачи проложенный в земле кабель может оказаться в зоне с высоким потенциалом земли. Такое положение особенно опасно, если кабель не имеет изолирующего покрытия на металлической оболочке; опасность возрастает с увеличением напряжения в линии электропередачи, уменьшением длины кабельного участка и повышением удельного сопротивления земли. Опасное положение возникает также в том случае, когда на ближайшей к кабелю опоре происходит короткое замыкание провода линии электропередачи на землю.

Если по условиям эксплуатации требуется заменить воздушную линию кабелем, то в месте пересечения с линией электропередачи должны быть приняты специальные меры предосторожности, например:

- использование изолирующего покрытия на металлической оболочке кабеля;
- использование кабеля с пластмассовой оболочкой.

2 Линия остается воздушной

В этом случае рекомендуется подвеска предохранительного провода или защитной сетки между проводами линии электропередачи и линии электропередачи и линии электросвязи. Однако этот метод не следует применять в качестве универсального.

В любом случае необходимо соблюдать минимальное расстояние (по вертикали) между проводами линии электропередачи и линии электросвязи, которое определяется национальными правилами.

Кроме того, для уменьшения опасности можно принять ряд других мер, а именно:

2.1 *Использование общей опоры* в местах пересечения при условии, что изоляторы линии электросвязи имеют большую электрическую прочность.

2.2 *Изолирование проводов*, предпочтительно проводов линии электросвязи, если эта изоляция соответствует окружающим условиям.

2.3 *Усиление конструкции* линии электропередачи в месте пересечения для уменьшения опасности обрыва проводов.

3 Условия, при которых могут быть приняты меры, указанные в пунктах 2.1, 2.2 и 2.3

Применение этих методов зависит, главным образом, от напряжения линии электропередачи. Диапазон напряжений, которые необходимо учитывать, не отвечает стандартам Международной электротехнической комиссии (МЭК), так как в этом случае возникают специфические проблемы.

3.1 Сети с напряжением 600 В и ниже

Необходимо принимать меры, указанные в пункте 2.1 и/или пункте 2.2.

3.2 Сети с напряжением 60 кВ и выше

(В частности, так называемые сети „высокой надежности”, которые упоминаются в [1].)

В случае необходимости принимаются меры, указанные в пункте 2.3.

3.3 Сети с промежуточными напряжениями

Вследствие разнообразия напряжений, механических характеристик линий и методов эксплуатации в диапазоне напряжений от 600 В до 60 кВ дать точные рекомендации невозможно.

Однако можно воспользоваться одним или несколькими из указанных выше методов, хотя в некоторых особых случаях этот вопрос требует изучения со стороны всех заинтересованных служб.

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи”, вводная глава, пункт 3.2.3, МСЭ, Женева, 1963, 1965, 1974, 1978, 1982 годы.

ЗАЩИТА ОТ АКУСТИЧЕСКОГО УДАРА

При неблагоприятных условиях в результате электромагнитных влияний на линию в телефонном аппарате, который обычно включается в двухпроводную линию, могут появиться кратковременные перенапряжения исключительно большой амплитуды, например порядка 1 кВ.

Если подобные перенапряжения появляются во время телефонного разговора, то они создают посредством телефонного капсюля сильное звуковое давление, опасное для слуха и нервной системы человека.

Такие перенапряжения могут иметь место, главным образом, при одновременном срабатывании грозоразрядников, подключенных к двум проводам телефонной линии, в результате чего через телефон протекает уравнивающий ток. Поэтому МККТТ рекомендует, особенно на линиях с газонаполненными грозоразрядниками, применять устройство защиты от акустического удара, обусловленного недопустимо высокими индуктированными напряжениями (см. *Директивы*, глава I/6, стр. 16).

Устройства защиты состоят, например, из двух параллельно включенных и противоположно направленных диодов или других полупроводниковых элементов, подключенных параллельно непосредственно к телефонному капсюлю.

В современных телефонных аппаратах резкие скачки напряжения, которые могут возникнуть в телефонном капсюле, можно устранить за счет выбора соответствующих характеристик электрических цепей от ввода линии, где возникают опасные напряжения, до самого телефонного капсюля.

Рекомендуется также, чтобы предлагаемые меры защищали от треска и щелчков, которые могут возникнуть в абонентских установках в результате неправильной работы и непредусмотренного включения оборудования, к которому подсоединены абонентские установки.

Устройства, предназначенные для защиты от акустического удара, должны:

- удовлетворять техническим требованиям, предъявляемым к оборудованию;
- легко поддаваться проверке;
- не вызывать ощутимого ухудшения качества телефонной передачи.

Для удовлетворения этих требований, в частности, рекомендуется следующее:

- 1) устройство должно быть небольшим по размеру, чтобы его можно было разместить в корпусе телефонной трубки абонента или гарнитуры телефонистки;
- 2) электрические характеристики устройства не должны значительно изменяться под влиянием температуры и влажности, которые могут иметь место в процессе эксплуатации;
- 3) эффективность устройства должна проверяться в соответствии с положениями Рекомендации Р.36 МККТТ.

Рекомендация К.8 (Мар-дель-Плата, 1968 г.)

РАССТОЯНИЯ В ЗЕМЛЕ МЕЖДУ СООРУЖЕНИЯМИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И ЭЛЕКТРОСЕТИ

Величины напряжений, которые могут иметь место в грунте вблизи кабелей электросвязи, зависят от ряда факторов, а именно: от напряжения линии электропередачи, величины тока короткого замыкания, удельного сопротивления земли, взаимного расположения линии электропередачи и сооружений электросвязи и других местных условий. Поэтому невозможно предложить общие правила относительно минимального рекомендуемого расстояния. В принципе, влияние электросети на сооружение электросвязи должно определяться с помощью испытаний всякий раз, когда имеются указания на возможность появления перенапряжений. Однако проведение подобных испытаний часто может быть настолько трудоемким, что оказывается неоправданным. Практика показала, что при не очень большом удельном сопротивлении земли (порядка нескольких сотен Ом · м) и отсутствии других известных или предполагаемых условий, при которых повышаются напряжения и токи в земле, не возникает никаких затруднений, если минимальное допустимое расстояние между кабелем электросвязи и основанием опоры линии электропередачи составляет 10 м. Известные или предполагаемые условия могут потребовать увеличения этого расстояния (например, до 50 м в Швеции в условиях чрезвычайно большого удельного сопротивления земли).

В ряде случаев расстояние 10 м не требуется; в некоторых странах в определенных условиях вполне достаточны расстояния порядка 2 м и даже меньше (см. приложение А).

Если местные условия не позволяют выдерживать указанное расстояние, то можно предусмотреть применение кабелей электросвязи с соответствующей изоляцией (например, прокладывая их в трубах или применяя кабели с изолирующим покрытием) в местах с высокими потенциалами земли.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации К.8)

Информация CIGRE (1964—1968 годы)

На рис. А-1/К.8 в качестве примера показана прокладка кабеля электросвязи в одной траншее с электрокабелем на 225 кВ на участке протяженностью 4911 м (в районе Парижа). Три однофазных электрокабеля в стальной трубе, тщательно заземленной на обоих концах, и кабель электросвязи (семичетверочный в свинцовой оболочке) уложены в бетонной малоармированной канализации заводского изготовления.

Измерения индукции, выполненные при нескольких значениях тока короткого замыкания на всей длине кабеля электросвязи (4911 м), дали следующие значения индуктированных эдс:

Ток короткого замыкания, А	100	200	400
Индуктированная эдс, В/А	0,055	0,046	0,036

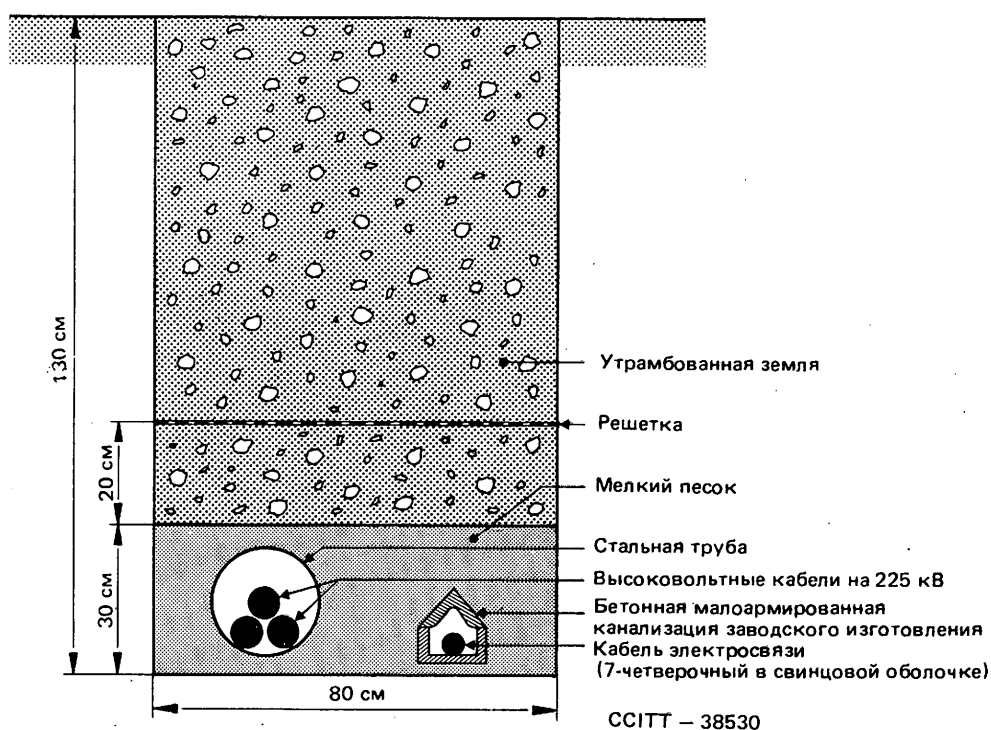


РИСУНОК А-1/К.8

Общая траншея для электрокабеля и кабеля электросвязи

**ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛА И УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСВЯЗИ
ОТ ВЫСОКИХ ГРАДИЕНТОВ ПОТЕНЦИАЛА ЗЕМЛИ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ИЗ-ЗА ВЛИЯНИЯ СОСЕДНЕЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОТЯГИ**

1 Общие положения

С технической точки зрения меры предосторожности, принимаемые на электрифицированных железных дорогах с целью защиты персонала и установок, могут различаться в зависимости от факторов, главными из которых являются следующие:

- удельное сопротивление земли;
- электрическое линейное оборудование, необходимое для обеспечения безопасности на железной дороге и способное предотвратить систематическое замыкание рельсов с металлическими конструкциями вблизи железнодорожного пути;
- характеристики требуемых защитных устройств, которые на линиях электротяги переменного тока до некоторой степени зависят от наличия или отсутствия бустерных трансформаторов;
- степень изоляции контактных проводов, на которую также может влиять тип защитных устройств, особенно в случае электрифицированных железных дорог сравнительно низкого напряжения, например электрифицированных железных дорог постоянного тока напряжением 1500 В;
- средства, рекомендуемые для соединения металлической конструкции с рельсами в случае перенапряжений, без постоянного контакта (например, один из способов заключается в использовании разрядника).

2 Электрифицированные железные дороги переменного тока

К рельсам рекомендуется подключать все соседние металлические конструкции, расположенные на определенном расстоянии от электрифицированных железных дорог, но только если эти конструкции не являются устройствами, обеспечивающими безопасность, так как в противном случае это недопустимо.

Если подключение конструкций к рельсам невозможно, рекомендуется их заземлять с помощью электродов с достаточно малым сопротивлением.

3 Электрифицированные железные дороги постоянного тока

Принимаемые меры предосторожности должны учитывать необходимость исключения любой опасности возникновения электролитической коррозии. Эти меры заключаются в том, что к рельсам подсоединяются только те металлические конструкции, которые достаточно изолированы от земли, или соединение металлических конструкций с рельсами осуществляется с помощью разрядников. Металлические конструкции с соответствующим образом изолированной контактной системой или линии со сравнительно низким рабочим напряжением не должны подключаться ни к рельсам, ни к заземляющим устройствам.

4 Кабели электросвязи

Рекомендуется, чтобы новые кабели, прокладываемые вблизи рельсов, на вводах в подстанции, а также на металлических мостах, имели внешнее пластмассовое покрытие с возможно более высокой электрической прочностью с целью предотвращения контакта между кабелем и этими конструкциями.

Если речь идет об уже проложенных кабелях с металлическими оболочками, то хорошим решением, по крайней мере на больших железнодорожных станциях, является подключение металлических оболочек к рельсам.

5 Требования, которым должны удовлетворять установки, принадлежащие Администрациям и расположенные вблизи электрифицированных железных дорог

Основными мерами по защите таких установок являются:

- размещение установок за пределами опасной зоны;
- экранирование;
- замена металлических элементов изолирующими, в частности оболочек и покрытий кабелей или корпусов, в которых размещаются промежуточные усилители.

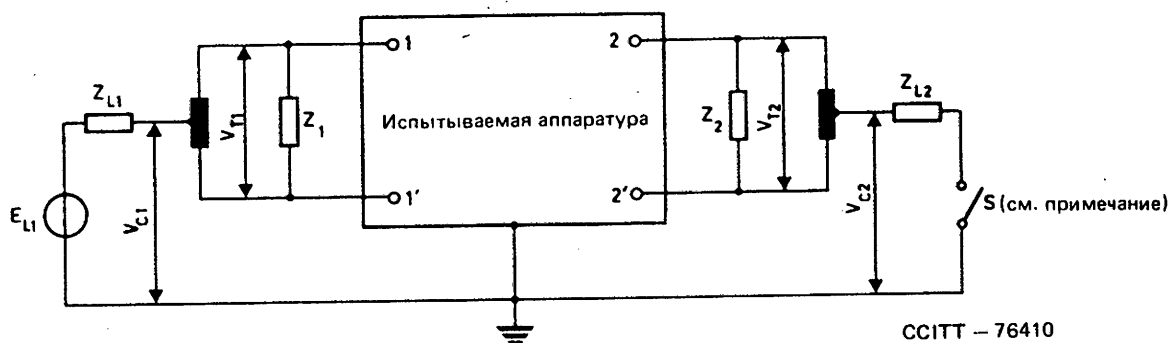
Примечание. — Вышеизложенные рекомендации обусловлены исключительно техническими соображениями, которые необходимо тщательно анализировать в каждом конкретном случае. Естественно, каждая Администрация должна действовать при этом с учетом принятых в ее стране правил.

АСИММЕТРИЯ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ

1 Асимметрия аппаратуры электросвязи относительно земли

Для сохранения достаточной симметрии аппаратуры электросвязи и подключенных к ней линий рекомендуется, чтобы минимальные допустимые значения затухания асимметрии установок электросвязи составляли 40 дБ (в диапазоне 300—600 Гц) и 46 дБ (в диапазоне 600—3400 Гц). Эти значения являются общими минимальными значениями и не исключают возможности использования в других рекомендациях МККТТ¹ более высоких минимальных значений в зависимости от конкретных условий.

Схема измерения асимметрии аппаратуры электросвязи показана на рис. 1/К.10.



Примечание. — Обычно измерения для определения предельных значений проводятся при замкнутом положении ключа S. Однако для некоторых типов аппаратуры, например аппаратуры, описанной в Рекомендации Q.45, может потребоваться определить предельные значения затухания асимметрии на дальнем конце при замкнутом и разомкнутом положении ключа S.

РИСУНОК 1/К.10

Схема измерения

Условные обозначения, определения и схемы измерения асимметрии даны на основании Рекомендаций G.117 и O.121.

В диапазоне тональных частот должны соблюдаться условия $Z_{L1} = Z_1/4$ и $Z_{L2} = Z_2/4$ (см. Рекомендацию Q.45 и Рекомендацию O.121, пункт 3.2).

Приняты следующие термины:

- затухание асимметрии (применяется к двух- и четырехполюсным схемам):

$$20 \log_{10} \left| \frac{E_{L1}}{V_{T1}} \right| \text{ дБ;}$$

- затухание асимметрии на дальнем конце (применяется только к четырехполюсным схемам):

$$20 \log_{10} \left| \frac{E_{L1}}{V_{T2}} \right| \text{ дБ.}$$

2 Асимметрия линий электросвязи относительно земли

Если измерения проводятся на протяженной линии, то в основном необходимо пользоваться той же схемой измерения и приборами, приведенными на рис. 1/К.10. Однако индуктированная продольная эдс и асимметрия распределяются вдоль линии. Следовательно, затухание асимметрии и затухание асимметрии на дальнем конце зависят не только от собственных параметров, но также от распределения напряжения в цепи „про-

¹ См., в частности, Рекомендацию Q.45, а также результат дальнейшего изучения Вопросы 13/V [1].

вод — земля/оболочка”. Для нахождения асимметрии на практике рекомендуется, чтобы измерения проводились при напряжении в цепи „провод — оболочка” с неизменной полярностью (то есть источник питания на конце, см. таблицу 1/К.10) и при напряжении в цепи „провод — оболочка” с полярностью, изменяющейся в средней точке (то есть источник питания в середине, см. таблицу 2/К.10).

В таблице 3/К.10 изложены выводы, полученные на основании этих измерений.

ТАБЛИЦА 1/К.10

Результаты измерения асимметрии линии
при питании продольной цепи
на одном конце

Сторона 1		Сторона 2	
Окончание	Используемые выражения	Используемые выражения	Окончание
	Затухание асимметрии	Затухание асимметрии на дальнем конце	Разомкнут
	$20 \log_{10} \left \frac{E_{L1}}{V_n^o} \right $	$20 \log_{10} \left \frac{E_{L1}}{V_{T2}^o} \right $	Замкнут
Разомкнут	Затухание асимметрии на дальнем конце	Затухание асимметрии	
Замкнут	$20 \log_{10} \left \frac{E_{L2}}{V_n^o} \right $	$20 \log_{10} \left \frac{E_{L2}}{V_{T2}^o} \right $	

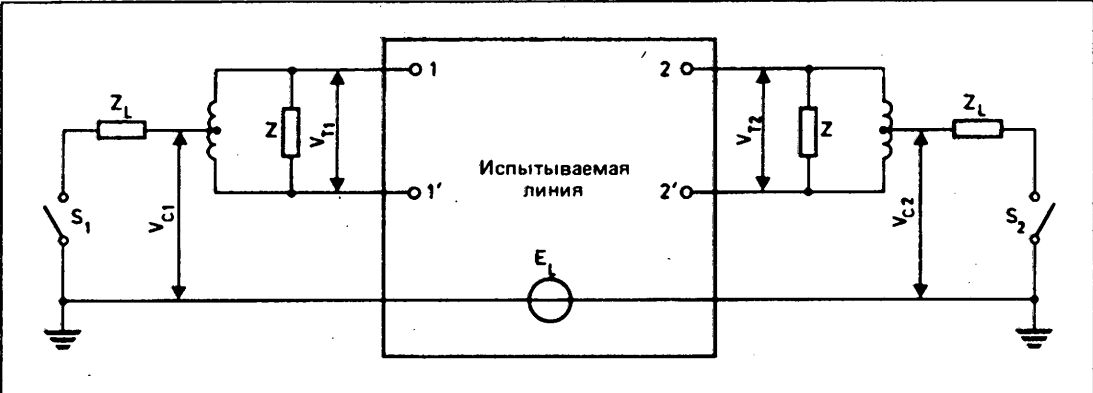
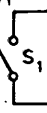
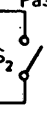
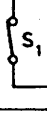
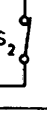
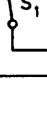
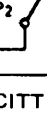
ССИТТ — 76420

Примечание 1. — Индексы о и с указывают, соответственно, на разомнутое и замкнутое положение ключа S.

Примечание 2. — Величины V_{C1} и V_{C2} дают некоторое представление о распределении напряжения в цепи „провод — земля/оболочка”.

ТАБЛИЦА 2/К.10

Результаты измерения асимметрии линии
при питании продольной цепи
на промежуточном участке

				
Сторона 1		Сторона 2		
№	Окончание	Затухание асимметрии	Затухание асимметрии	Окончание
1	Разомкнут 	$20 \log_{10} \left \frac{E_L}{V_{\infty T_1}} \right $	$20 \log_{10} \left \frac{E_L}{V_{\infty T_2}} \right $	Разомкнут 
2	Замкнут 	$20 \log_{10} \left \frac{E_L}{V_{\infty T_1}} \right $	$20 \log_{10} \left \frac{E_L}{V_{\infty T_2}} \right $	Замкнут 
3	Разомкнут 	$20 \log_{10} \left \frac{E_L}{V_{\infty T_1}} \right $	$20 \log_{10} \left \frac{E_L}{V_{\infty T_2}} \right $	Замкнут 
4	Замкнут 	$20 \log_{10} \left \frac{E_L}{V_{\infty T_1}} \right $	$20 \log_{10} \left \frac{E_L}{V_{\infty T_2}} \right $	Разомкнут 

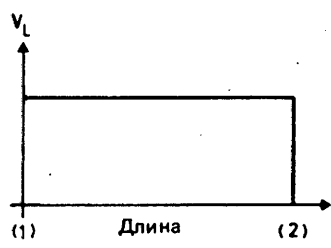
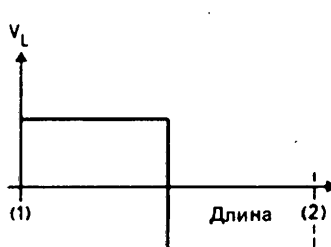
ССИТТ – 76430

Примечание 1. – Индексы о и с указывают, соответственно, на разомкнутое и замкнутое положение ключа S.

Примечание 2. – Величины V_{c1} и V_{c2} дают некоторое представление о распределении напряжения в цепи „провод – земля/оболочка“.

ТАБЛИЦА 3/К.10

Методика измерений для определения асимметрии линии
относительно земли

Ситуация измерения	Исследуемые характеристики
Эдс прикладывается на концах (см. таблицу 1/К.10)  Напряжение в цепи "провод — оболочка" с определенной полярностью	Степень асимметрии, присущей самой линии: — обычно наибольшее значение поперечного напряжения, измеряемого на линии — распределение асимметрии вдоль линии (измерения на обоих концах) — определение участков линии с недопустимо высокой асимметрией
Эдс прикладывается в середине линии (см. таблицу 2/К.10)  Напряжение в цепи "провод—оболочка" с полярностью, изменяющейся в средней точке	Влияние распределения напряжения в цепи "провод — оболочка" вдоль линии: — поперечные напряжения, более согласующиеся с реальными ситуациями — эффекты компенсации вследствие изменения полярности в цепи "провод — оболочка" — указания о знаке асимметрии по сравнению с результатами других распределений напряжения в цепи "провод — оболочка"

ССИТТ — 76440

Примечание. — Если продольная цепь замкнута с помощью ключей, то при этом имитируется влияние оконечной аппаратуры, подключенной к линии с низким полным сопротивлением относительно земли.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации К.10)

Пример вычисления поперечных напряжений в линии электросвязи

А.1 Общие положения

Документ, указанный в [2], содержит большое количество рассчитанных значений, относящихся к соотношению между продольным напряжением и его переходом в поперечное напряжение. Настоящее приложение является выдержкой из этого документа. В нем содержится исходная информация по использованию предложений, содержащихся в Рекомендации К.10, для измерений на линиях электросвязи.

Наиболее важные результаты сведены в таблицу А-1/К.10. Они относятся к симметричным парам с медными жилами диаметром 0,9 мм и воздушно-бумажной изоляцией, скрученным в звездные четверки с рабочей емкостью 34 нФ/км. В процессе вычислений имитировалась только емкостная асимметрия.

А.2 Напряжения в цепи „провод — оболочка”

Распределение напряжения в цепи „провод — оболочка (земля)” (см. колонку 2 в таблице А-1/К.10, где для простоты полное напряжение источника в продольной цепи принято равным 100 В) в основном зависит от:

- расположения источника продольной эдс (см. колонку 1 в таблице А-1/К.10);
- окончания продольной цепи (см. колонку 3 в таблице А-1/К.10).

На основе диаграмм, показанных в колонке 2 таблицы А-1/К.10, полезно указать на следующие зависимости:

- а) если эдс прикладывается на одном из концов продольной цепи, то напряжение в цепи „провод — оболочка” будет распределено вдоль линии равномерно и с неизменной полярностью. В том случае, когда ключ S замкнут, напряжение уменьшается (сравните кривые, показанные сплошной и пунктирной линиями в 1-м ряду во 2-й колонке);
- б) в тех случаях, когда эдс прикладывается на промежуточном участке линии, например сосредоточена в середине или распределена равномерно по длине, напряжение в цепи „провод — оболочка” на каждой половине линии имеет одинаковые значения, но противоположную полярность (см. кривые, показанные пунктирной линией во 2-м и 3-м рядах). Если на концах замкнут только один ключ, то симметрия распределения напряжения нарушается (см. кривые, показанные сплошной линией во 2-м и 3-м рядах). Отличие распределений напряжения при разомкнутом/замкнутом и замкнутом/замкнутом положении ключей на концах уменьшается с увеличением протяженности линии и частоты.

А.3 Затухание асимметрии

Затухание асимметрии и затухание асимметрии на дальнем конце (определяется по таблицам 1/К.10 и 2/К.10) в основном зависят от:

- распределения напряжения в цепи „провод — оболочка” (см. пункт 2);
- значения и распределения емкостной асимметрии.

Что касается влияния второго фактора, то были исследованы три случая. В таблице А-1/К.10 эти случаи обозначены как с односторонним, полностью выравненным, и выравненным с остаточной асимметрией характеристиками распределения асимметрии. Случай односторонней равномерной емкостной асимметрии $\Delta C = 600$ пФ/км имитирует наихудший случай асимметрии, которого на практике не бывает. Также невозможно добиться полностью выравненной асимметрии линии (при пересечении через каждые 0,5 км).

Значения затухания асимметрии можно объяснить с помощью того факта, что высокие поперечные напряжения возникают в результате емкостной асимметрии в том случае, если расположение асимметрии совпадает с высоким напряжением в цепи „провод — земля”. Асимметрия последующего участка линии может увеличить поперечное напряжение, если знак асимметрии и полярность напряжения в цепи „провод — земля” такие же, как и на предыдущем участке. Однако если один из параметров меняется, то результирующее поперечное напряжение становится ниже.

При хорошо выравненной асимметрии линии значение затухания асимметрии имеет большую величину и в основном не зависит от расположения источника эдс и позиций ключей на концах (см. колонку 5 в таблице А-1/К.10).

Если величина затухания асимметрии существенно увеличивается при размыкании ключа S и зависит от направления питания, то можно предположить наличие на линии локальной асимметрии (см. колонку 6 в таблице А-1/К.10).

Низкие значения затухания асимметрии (то есть менее 60 дБ) могут быть вызваны односторонней емкостной асимметрией (см. колонку 4 в таблице А-1/К.10). Для Рекомендации К.10 это является тем случаем, когда метод измерения, изложенный в пункте 2, может дать значительно завышенные значения затухания асимметрии, чем фактические значения в реальных условиях влияния линий электропередачи. В этом случае более реальные значения можно получить с помощью метода, приведенного в таблице 2/К.10.

ТАБЛИЦА А-1/К.10

Напряжения в цепи „провод – земля”
и затухания асимметрии

(Длина кабеля 10 км; частота 800 Гц; емкостная асимметрия $\Delta C = 600$ пФ/км)

Расположение источника эдс	Распределение напряжения в цепи "провод — земля"	Окончание продольной цепи (положение ключа)	Затухание асимметрии, дБ					
			ΔC		Характер распределения ΔC		Выравненный с остаточной асимметрией	
			Односторонний		Полностью выравненный		с остаточной асимметрией	
		R (1)S (2)	R (1)S (2)	R (1)S (2)	R (1)S (2)	R (1)S (2)		
1	На конце S (1)	Случай 1 Разомкнут	49	49	101	101	77	84
		Случай 2 Замкнут	53	53	102	102	83	90
2	В середине	Случай 3 Разомкнут	57	58	96	100	78	84
		Случай 4 Замкнут	70	70	100	99	83	88
3	Равномерно по длине	Случай 5 Разомкнут	57	58	95	102	78	84
		Случай 6 Замкнут	74	74	99	101	83	88
Колонка 1	Колонка 2	Колонка 3	Колонка 4		Колонка 5		Колонка 6	

На линиях основным видом асимметрии является емкостная асимметрия. Однако иногда омическая асимметрия (последовательное сопротивление R) также бывает значительной. Как было указано выше, когда ключ S_2 разомкнут, влияние поперечной асимметрии (в случае емкостного характера асимметрии линии) становится более заметным. Если ключ S_2 (или S_1 и S_2 , показанные в таблице 2/К.10) разомкнут, а затухание асимметрии остается неизменным (или даже уменьшается), то это означает, что продольная асимметрия не может быть главной причиной асимметрии линии. И наоборот, если наблюдается увеличение, то основной является продольная асимметрия. Необходимо отметить, что хотя причиной наличия Z_L и S_2 является обеспечение возможности проводящему измерению различить продольную и поперечную асимметрии, эффективность этого зависит от поперечного полного сопротивления линии, образуемого результирующей емкостью линии по отношению к земле (например, длиной линии [3]).

Библиография

- [1] Вопрос МККТТ 13/V „Асимметрия телефонных установок”.
- [2] Документ МККТТ COM V-38 „Изучение соотношения между асимметрией и возникающими поперечными напряжениями”, 1981—1984 годы (Администрация электросвязи Венгрии).
- [3] IEEE Std 455—1976 „IEEE Standard test procedure for measuring longitudinal balance of telephone equipment operating in the voice band”. Published by IEEE, Inc., September 30, 1976.

Рекомендация К.11 (Женева, 1972 г.; исправлена в Малага-Торремолиносе, 1984 г.)

ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И ИЗБЫТОЧНЫХ ТОКОВ

Введение

В действующих документах МККТТ грозовые разряды и аварии на близко расположенных электрических установках признаются источниками опасных влияний на линии электросвязи, которые могут вызвать повреждения, приводящие к нарушениям связи и необходимости выполнения ремонтных работ, или повреждения, опасные для обслуживающего персонала.

Целью настоящей Рекомендации является изложение принципов, которые позволяют ограничить частоты и тяжесть таких влияний до уровней, учитывающих качество связи, эксплуатационные расходы и безопасность персонала. Эти принципы применимы ко всем частям системы электросвязи. Более подробные сведения по определенным методам защиты и для определенных частей системы содержатся в указанной справочной литературе и в Рекомендациях К.5, К.6, К.9, К.12, К.15, К.16, К.17. В [1] и [2] приведена информация о характере влияний и устройствах защиты.

В настоящей Рекомендации рассматриваются главным образом местные станции, абонентские линии и абонентское оборудование, однако ее содержание может иметь более широкое применение.

Примечание. — Опасные влияния, если они появляются, возникают относительно редко или являются весьма кратковременными (обычно порядка доли секунды), и при разработке настоящей Рекомендации не рассматривались методы, позволяющие избежать перерывов в работе оборудования во время самих влияний. МККТТ продолжает изучение таких методов.

1 Общие положения

1.1 Источники опасных перенапряжений и избыточных токов

1.1.1 Прямые удары молнии

Такие удары могут вызвать протекание по проводам или кабелям токов в несколько тысяч ампер в течение нескольких микросекунд. В результате могут произойти физические повреждения, а мощные импульсные перенапряжения величиной в несколько киловольт и более могут вызвать пробой изоляции линейного и оконечного оборудования.

1.1.2 Близкие удары молнии

Токи молнии, протекающие от облака к земле или между облаками, вызывают перенапряжения в воздушных или подземных линиях вблизи места грозового разряда. В районах с высоким удельным сопротивлением земли область, подверженная влиянию, может быть большой.

1.1.3 Опасное влияние токов короткого замыкания в линиях электропередачи и электротяги

Короткие замыкания в электрических системах приводят к протеканию больших несимметричных токов в линиях электропередачи, индуцирующих перенапряжения в соседних линиях электросвязи, которые проложены параллельно линиям электропередачи. Перенапряжения могут достигать нескольких киловольт и иметь длительность 200—1000 мс (иногда даже больше) в зависимости от используемой на линии электропередачи системы отключения.

1.1.4 Соприкосновение с проводами линий электропередачи

Соприкосновения проводов линий электросвязи с проводами линий электропередачи могут произойти во время локальных стихийных бедствий, например бури, пожара, вызывающих повреждения обоих типов оборудования, или при несоблюдении обычных требований безопасности по минимально допустимым расстояниям между линиями и их изоляции. Перенапряжения редко превышают 240 В_{эфф} переменного тока по отношению к земле в странах, где такое напряжение принято на распределительной сети, но они могут длиться в течение неограниченного времени, прежде чем будут обнаружены. При более высоких напряжениях распределительной сети, например 2 кВ, устройства защиты линий электропередачи, как правило, обеспечивают быстрое снятие напряжения при возникновении повреждения. Перенапряжение может вызвать протекание по линии к станционному заземлению избыточных токов, что приводит к повреждению оборудования и создает опасность для обслуживающего персонала.

1.1.5 Повышение потенциала земли

Короткие замыкания в электрических системах вызывают появления токов в земле, которые повышают потенциал вблизи места повреждения и вблизи заземляющего электрода источника питания (см. также Рекомендацию К.9). Эти потенциалы земли могут воздействовать на установки электросвязи следующими двумя способами:

- а) могут произойти ложные срабатывания систем сигнализации электросвязи, если потенциал земли вблизи заземляющего электрода такой системы увеличивается всего лишь на 5 В по отношению к нормальному потенциалу земли. Такие напряжения могут быть вызваны незначительными неисправностями электрической системы, которые могут оставаться незамеченными длительное время;
- б) более значительное повышение потенциала земли может создать опасность для персонала, работающего в зоне влияния, или, в исключительных случаях, может оказаться достаточным для пробоя изоляции кабеля электросвязи и вызвать серьезное повреждение.

1.2 Методы защиты

1.2.1 Некоторые меры защиты линий, описание которых приведено в пункте 2, позволяют снизить перенапряжения и избыточные токи в их источнике и таким образом уменьшить риск повреждения всех частей системы.

1.2.2 Другие меры, которые могут применяться для защиты только определенных частей системы, как указано в пунктах 2, 3 и 4, подразделяются, в общих чертах, на две группы:

- устройства защиты, которые предотвращают попадание избыточной энергии в уязвимые части системы либо путем отвода энергии (например, разрядники), либо путем отключения линии (например, предохранители);
- использование оборудования с подходящими электрической прочностью изоляции, пропускной способностью по току и сопротивлением, чтобы оно могло выдерживать условия, в которые оно поставлено.

1.3 Типы устройств защиты

1.3.1 Угольные и искровые разрядники

Эти разрядники обычно включаются между каждым проводом линии и землей и ограничивают напряжение, которое может возникнуть между их электродами. Они дешевы, но их сопротивление изоляции после повторяющихся срабатываний может заметно уменьшиться и поэтому может возникнуть необходимость в частой замене разрядников.

1.3.2 Газонаправленные разрядники

Эти разрядники обычно включаются между каждым проводом линии и землей, а в случае трехэлектродных разрядников — между парой проводов и землей. Их характеристики могут быть заданы в точных пределах, чтобы отвечать требованиям системы. Разрядники компактны и, как правило, во время работы не требуют дополнительного обслуживания.

Подробные требования к газонаполненным разрядникам даны в Рекомендации К.12.

1.3.3 Полупроводниковые устройства защиты

Полупроводниковые устройства защиты применяются аналогично угольным или газонаполненным разрядникам. Они могут защищать оборудование от напряжений даже с таким малым значением, как 1 В. Эти устройства имеют точные характеристики и значительное быстродействие, но могут повреждаться избыточными токами.

1.3.4 Предохранители

Предохранители включаются последовательно в каждый провод линии с целью отключения ее при протекании избыточного тока. Простейшие предохранители содержат однородную плавкую проволоку. Предохранители замедленного действия содержат однородную проволоку, которая быстро плавится при протекании тока большой величины, и пружинный элемент, который плавится постепенно и отключает линию при длительном протекании токов меньшей величины. Типичная величина тока плавления равна 2 А при кратковременном протекании тока и 250 мА при длительном протекании тока. После срабатывания предохранители не должны поддерживать дуговой разряд. Предохранители не предназначены для защиты от грозовых разрядов, и в районах, где грозовые разряды являются обычным явлением, во избежание нарушения связи при повреждении предохранителей могут потребоваться предохранители с высоким номинальным значением тока (до 20 А). Однако такие предохранители могут не обеспечить требуемой защиты от соприкосновений с линиями электропередачи. Предохранители могут также служить источником помех и несвоевременных отключений.

1.3.5 Термические катушки

Термические катушки включаются последовательно в каждый провод линии с целью отключения или заземления на линейный заземлитель, или того и другого одновременно при протекании опасного тока. Они содержат плавкий элемент и срабатывают при протекании тока порядка 500 мА в течение около 200 с.

1.3.6 Самовосстанавливающиеся устройства ограничения тока

Предохранители и термические катушки обладают тем недостатком, что их срабатывание приводит в длительному отключению цепи, для восстановления которой необходимо вручную производить их замену. Существуют определенные устройства с переменным сопротивлением, которые при нагревании от избыточных токов значительно увеличивают свое электрическое сопротивление. Устройства возвращаются в свое нормальное состояние с низким электрическим сопротивлением при отсутствии избыточных токов. Следует обращать внимание на время срабатывания и способность регулирования напряжения этих устройств.

1.4 Остаточные эффекты

Основное назначение мер защиты состоит в том, чтобы гарантировать, что большая часть электрической энергии от воздействия помехи не будет рассеиваться в уязвимых частях установки электросвязи и не будет создаваться опасность для обслуживающего персонала. Однако не существует никаких устройств защиты, характеристики которых позволяли бы полностью подавить все напряжения и токи, связанные с помехами, по следующим причинам.

1.4.1 Остаточные перенапряжения

Следует принимать во внимание:

- напряжения, которые не понижаются устройствами защиты, поскольку их величина оказывается ниже порога срабатывания этих устройств;
- переходные процессы, которые происходят до срабатывания устройств защиты;
- напряжения, которые остаются после срабатывания устройств защиты;
- переходные процессы, создаваемые работой устройств защиты.

1.4.2 Поперечные напряжения

Устройства защиты, включенные в оба провода пары, могут срабатывать одновременно, что приводит к появлению поперечного импульсного напряжения. При определенных условиях, в частности если защищаемое оборудование имеет низкое полное сопротивление, срабатывание одного устройства защиты может помешать срабатыванию другого устройства защиты и поперечное напряжение может оставаться до тех пор, пока в линии существует продольное напряжение.

1.4.3 Влияние на нормальную работу цепи – согласованная конструкция

Между напряжением срабатывания устройств защиты и наибольшим значением напряжения, возникающего на линии при нормальной работе, должен быть обеспечен достаточный промежуток.

Кроме того, характеристики (внутренние сопротивления) защитных элементов должны быть совместимы с нормальным функционированием установок, учитывающим возможное наличие защитных элементов.

1.4.4 Побочные эффекты

Устройство защиты может обеспечить безопасность одной части линии за счет другой; например, если перегорает предохранитель в главном щите переключений (ГЩП) (кроссе) от соприкосновения с проводами линии электропередачи, то в момент, когда предохранитель размыкает цепь станционного заземления, напряжение на линии электросвязи может возрасти до полного напряжения линии электропередачи.

Кроме того, действие защитного устройства может значительно уменьшить эквивалентное внутреннее сопротивление цепи по сравнению с сопротивлением подключенного к ней оборудования, позволяя, таким образом, протекать токам, способным вызвать повреждение.

1.4.5 Координация первичной и вторичной ступеней защиты

Для защиты чувствительного оборудования иногда необходимо не одно устройство защиты, а несколько, например, быстродействующее, слаботочное устройство, такое как полупроводниковый элемент, и сильноточное устройство более замедленного действия, такое как газонаполненный разрядник. В таких случаях необходимо принять меры, чтобы слаботочное устройство не препятствовало срабатыванию сильноточного, поскольку если это будет иметь место, то слаботочное устройство может быть повреждено или в общей схеме может протекать избыточный ток.

1.4.6 Повышение температуры

Элементы защиты должны быть сконструированы и установлены таким образом, чтобы повышение температуры, сопровождающее их работу, вряд ли могло вызвать повреждение оборудования или создать опасность для обслуживающего персонала.

1.4.7 Готовность цепи

При срабатывании устройств защиты может быть временно или на длительный срок прервана работа защищаемой цепи.

1.4.8 Проблемы эксплуатации

Применение устройств защиты может затруднить техническое обслуживание системы вследствие недостаточной надежности этих устройств. Кроме того, они могут помешать проведению некоторых испытаний аппаратуры и линий электросвязи.

1.5 Оценка опасности повреждения

1.5.1 Эксплуатационные показатели системы электросвязи, принимая во внимание перенапряжения, зависят от следующих факторов:

- окружающих условий, то есть величины и вероятности возникновения перенапряжений на линиях, входящих в систему;
- способов построения сети электросвязи (см. пункт 2);
- стойкости оборудования к перенапряжениям;
- наличия устройств защиты;
- характеристик системы заземления, предназначенной для устройств защиты.

1.5.2 Окружающие условия

При оценке окружающих условий необходимо принимать во внимание факторы, указанные в пункте 1.1.

Степень опасности грозových перенапряжений сильно изменяется в зависимости от местности. Высокий уровень грозодеятельности и высокое удельное сопротивление земли увеличивают опасность воздействия прямых и близких ударов молнии, и, поскольку грозové разряды являются причиной большей части аварий на электрической сети, также возрастает количество случаев опасного влияния линий электропередачи и увеличения потенциала земли. С другой стороны, подземные металлические конструкции, как, например, трубы водопровода, бронированные кабели и т. д., экранируют городские телефонные кабели и значительно уменьшают перенапряжения от грозových разрядов или влияние, создаваемое линиями электропередачи.

- Как показывает опыт, в городских центрах и в районах с низкой грозодеятельностью перенапряжения редко превышают напряжения срабатывания устройств защиты и такие районы могут быть классифицированы как „неподверженные влияниям”. В Рекомендации К.20 и [3] указаны испытания, которым необходимо подвергать оборудование, предназначенное для использования в районах, неподверженных влияниям без защиты; эти испытания учитывают наиболее тяжелые окружающие условия, при которых районы могут рассматриваться как неподверженные влияниям.

- Все остальные районы классифицируются как „подверженные влияниям”, однако, разумеется, эта категория охватывает широкий диапазон условий, включая и места с исключительно сильным влиянием, где удовлетворительная работа оборудования может быть достигнута только с помощью совокупного применения всех имеющихся мер защиты.

В случае индуктированных напряжений и увеличения потенциала земли перенапряжения можно рассчитывать в соответствии с [2], где также рекомендованы максимальные допустимые значения напряжений для различных условий.

1.5.3 Регистрация повреждений

Только на основании практического опыта можно надлежащим образом оценить степень опасности перенапряжений и избыточных токов. Рекомендуется вести статистический учет повреждений в удобной для этой цели форме. Необходимо различать повреждения от перенапряжений и избыточных токов, повреждения, возникшие из-за неисправностей элементов устройств защиты, и повреждения по другим причинам.

1.6. Решение по защите

1.6.1 При рассмотрении степени надежности системы электросвязи по перенапряжениям можно выделить две группы повреждений:

- мелкие повреждения, которые возникают лишь на небольшой части устройств системы. Эти повреждения допустимы только до уровня, приемлемого для Администрации;
- крупные повреждения, пожары, аварии на станции и т. д., которые должны быть по возможности полностью исключены.

В Рекомендации К.20 даны примеры условий, при которых допускается возникновение мелких повреждений, однако при этом не допускается возникновение крупных повреждений. Кроме того, желательно, чтобы неисправность отдельного устройства защиты не приводила к крупному повреждению.

1.6.2 Особое внимание должно быть обращено на защиту от перенапряжений и избыточных токов новых типов станционного и абонентского оборудования, чтобы преимущества их улучшенной конструкции не были сведены на нет повреждениями от воздействия опасных напряжений и токов. Такому оборудованию может быть присуща чувствительность к перенапряжениям, и повреждения или неисправности могут повлиять на работу значительной части системы.

1.6.3 Следует отметить, что чрезмерная защита путем включения излишних устройств защиты не только неэкономична, но и может фактически ухудшить эксплуатационные параметры системы, поскольку устройства защиты сами, до некоторой степени, могут быть причиной неисправности.

1.6.4 Учитывая вышеизложенные соображения и оценку опасности в соответствии с пунктом 1.5, должно быть принято решение по защите, которую необходимо обеспечить во всех частях системы. Необходимо учитывать экономические соображения, а именно: стоимость мер защиты, затраты на ремонтные работы, расчеты с потребителями и вероятную частоту повреждений от перенапряжений и избыточных токов по отношению к доле повреждений по другим причинам.

Должна быть четко сформулирована ответственность за принятие этого решения и за установку любых устройств защиты, необходимых для координации линий и станционного оборудования.

Изготовителям оборудования необходимо знать от Администрации, эксплуатирующей оборудование, условия, которые оно должно выдерживать, а инженерам линейной службы необходимо знать стойкость оборудования, подключаемого к линиям. Кроме того, инженеры линейной службы должны определить влияния, которым будет подвергаться оборудование, подключаемое к линии, в зависимости от норм на организуемую защиту линий. В тех случаях, когда отдельные части сети электросвязи, а именно абонентские установки, линии и центры коммутации, могут быть собственностью разных владельцев, для такой координации может потребоваться выполнение некоторых формальных процедур, как, например, разработка местных стандартов. Указания по подготовке таких стандартов даны в Рекомендации К.20 и [3].

2 Защиты линий электросвязи

2.1 Внешние по отношению к проводам меры защиты

2.1.1 Линии электросвязи могут быть, до некоторой степени, защищены от ударов молнии расположенными вблизи них заземленными металлическими конструкциями, например линиями электропередачи или электрическими системами железных дорог. Эффективные металлические экраны в виде оболочек кабелей, кабельной

канализации или грозозащитных тросов снижают воздействие грозových импульсов и влияние, создаваемое линией электропередачи. В районах с высокой грозодеятельностью часто применяются специальные кабели с многослойными экранами и высокой электрической прочностью изоляции. Полезный эффект с точки зрения защиты дает соединение между собой всех металлических конструкций.

2.1.2 Влияние, создаваемое линиями электропередачи, может быть сведено к минимуму путем согласования работ по сооружению линий электропередачи и электросвязи. Уровень влияния может быть снижен в его источнике посредством подвески заземленных тросов и установки ограничителей тока в энергосистеме.

2.1.3 Вероятность соприкосновений проводов линий электропередачи с линиями электросвязи уменьшается при соблюдении согласованных норм на строительство, разнесение и изоляцию этих линий. Возникают соображения экономического порядка, но часто оказывается возможным извлечь большую пользу из совместного использования траншей, опор и канализаций, при условии что приняты соответствующие меры безопасности (см. Рекомендации К.5 и К.6). Особенно важно исключить соприкосновение с высоковольтными линиями электропередачи за счет более жестких норм на строительство, поскольку может оказаться весьма сложным избежать серьезных последствий, если такие соприкосновения будут иметь место.

2.2 Специальные кабели

Специальные кабели с высокой электрической прочностью изоляции могут быть использованы в местах, где возможно возникновение перенапряжений значительной величины.

Обычные кабели с пластмассовой изоляцией жил и оболочкой имеют более высокую электрическую прочность изоляции, чем кабели с воздушно-бумажной изоляцией и свинцовой оболочкой, и они пригодны для большинства ситуаций, в которых ранее применялись кабели с утолщенной изоляцией. Применение кабелей с повышенной прочностью изоляции может быть оправдано в тех случаях, когда исключительно мало расстояние до линии электропередачи, велика длина участка сближения, имеет место значительное повышение потенциала земли в непосредственной близости от электростанции или крайне велика опасность грозových воздействий вследствие высокого уровня грозодеятельности и низкой проводимости земли.

Ниже приведены другие примеры использования специальных кабелей:

- кабели с металлическими оболочками, обеспечивающими хороший коэффициент защитного действия за счет экранирования цепей в кабеле;
- кабели, которые содержат цепи, идущие к радиомачтам, подверженным воздействию грозových разрядов, и которые должны выдерживать токи молнии без повреждения;
- полностью диэлектрические (то есть неметаллические) волокно-оптические кабели для обеспечения изоляции между проводящими длинами кабеля.

2.3 Применение устройств защиты

Применение устройств защиты может быть целесообразным в следующих обстоятельствах:

2.3.1 Устройства защиты могут быть более экономичными, чем специальные конструкции, описанные в пунктах 2.1 и 2.2. В этой связи должны быть учтены затраты на эксплуатацию, поскольку устройства защиты неизбежно влекут за собой расходы на их техническое обслуживание, в то время как специальные кабели, экранирование и т. д. обычно не влекут за собой постоянные расходы, хотя первоначально и дороги.

2.3.2 Кабели с утолщенной изоляцией сами могут не повреждаться от перенапряжений или избыточных токов, но, однако, по ним такие напряжения могут попасть в другие, более уязвимые части сети. Поэтому требуется дополнительная защита для более уязвимых кабелей, и она особенно важна для подземных кабелей с большим числом пар, ремонт которых обходится дорого и которые влияют на обслуживание многих абонентов.

2.3.3 Индуктированные перенапряжения при коротких замыканиях в линиях электропередачи или электроотяги все же могут превышать величины, допускаемые *Директивами*, даже после того, как приняты все возможные меры предосторожности.

2.4 Установка устройств защиты

2.4.1 Для защиты изоляции жил целесообразно соединять между собой все металлические оболочки, экраны и т. д. и включать между этими объединенными металлическими элементами, которые должны быть заземлены, и жилами устройства защиты от перенапряжений. Этот метод особенно пригоден для районов с высоким удельным сопротивлением земли, поскольку он устраняет потребность в дорогостоящих заземляющих системах для защитных устройств.

2.4.2 В тех случаях, когда устройства защиты используются для уменьшения высоких напряжений, возникающих в линиях электросвязи, от влияния, создаваемого токами короткого замыкания в линиях электропередачи, эти устройства должны быть включены во все провода линии с соответствующими интервалами и по концам участка линии, подверженного влиянию, или как можно ближе к нему.

2.4.3 Для защиты подземных кабелей от грозовых перенапряжений устройства защиты могут быть установлены в местах соединения с воздушными линиями. Устройства защиты, установленные в ГЩП и в абонентских оконечных устройствах, снижают опасность повреждения линии, однако их основная задача состоит в защите элементов, имеющих более низкую электрическую прочность изоляции, чем у кабелей (см. Рекомендацию К.20 и [3]).

2.4.4 Длина соединительных проводов от устройств защиты от грозовых перенапряжений до линий и заземлений должна быть как можно короче, с тем чтобы свести к минимуму величины импульсных напряжений, возникающих между линией и эквипотенциальной точкой соединения.

2.5 Планирование работ

Основные положения пунктов 1.5 и 1.6 относятся к защите линий. Рекомендуется, чтобы в значительной степени решение о мерах защиты линии принималось на начальной стадии проектирования и в зависимости от окружающих условий. Может оказаться весьма сложным и дорогостоящим обеспечение удовлетворительной нормы надежности линии, первоначально оборудованной недостаточной защитой.

3 Защита стационарного оборудования и аппаратуры передачи

3.1 Необходимость внешней защиты оборудования

Эксплуатационные организации должны учитывать возможную потребность в обеспечении внешней защиты оборудования, имея в виду следующие соображения.

3.1.1 Линия электросвязи обеспечит некоторую защиту оборудования при определенных условиях, например:

- провод может расплавиться и разомкнуть цепь протекания избыточного тока;
- может произойти пробой изоляции провода, что приведет к уменьшению перенапряжений;
- может произойти пробой искровых разрядников, установленных на линии, что также приведет к уменьшению перенапряжений.

3.1.2 В результате увеличения электрической прочности изоляции жил кабелей с пластмассовой изоляцией повышаются величины перенапряжений и избыточных токов, которые могут распространяться по кабелю и попасть в аппаратуру. В отличие от этого, применение миниатюрных электронных элементов в стационарном оборудовании и аппаратуре передачи обуславливает увеличение уязвимости оборудования от электромагнитных помех.

По этим причинам в районах, подверженных частым и сильным помехам (грозовые разряды, линии электропередачи, почва с низкой проводимостью), обычно бывает необходимо включать, предпочтительно в ГЩП, устройства защиты, типы которых указаны в пункте 1.3, между жилами кабеля и аппаратурой, с которой они соединены. Эта мера предотвратит протекание избыточных токов по кабелю от ГЩП до аппаратуры.

Устройства защиты подключаются с линейной стороны ГЩП с тем, чтобы устранить протекание разрядных токов молнии в кроссовом поле ГЩП и подвергать как можно меньшему воздействию напряжения проводку ГЩП и контактные планки даже в случае, когда соприкосновение с электролинией приводит к отключению линии электросвязи последовательно включенным защитным устройством.

3.1.3 В местах, менее подверженных влияниям, помехи (напряжения и токи) могут иметь настолько низкие статистические характеристики уровня и частоты возникновения, что на практике их опасность не превышает опасности от остаточных эффектов, указанных в пункте 1.4 для районов, подверженных влияниям. В этом случае устройства защиты не выполняют свою функцию и требуют лишних затрат.

3.2 Необходимость в минимальном уровне электрической прочности оборудования

В тех местах, где линии подвергаются влияниям и установлены устройства защиты, остаточные эффекты, рассмотренные в пункте 1.4, могут привести к появлению в оборудовании перенапряжений и избыточных токов. В районах, менее подверженных влияниям, помехи, описанные в пункте 3.1.3, могут привести к аналогичным результатам. Поэтому оборудование должно проектироваться таким образом, чтобы оно выдерживало отмеченные условия. Подробные рекомендации по стойкости, которой должно обладать оборудование, приведены в Рекомендации К.20.

3.3 Влияние режима коммутации

Поскольку требуется, чтобы схема и взаимосвязь оборудования, подключенного к данной линии, изменялись во время последовательных стадий установления соединения, важно не ограничиваться исследованием защиты только отдельных линейных устройств. Большая часть оборудования является общей для всех линий и может быть подвержена воздействию помех, будучи подключенной к любой конкретной линии.

На эффективности установленной защиты может сказаться снижение вероятности возникновения влияния, если фактическая продолжительность подключения оборудования к линиям мала. С другой стороны, общее оборудование должно быть более защищенным, поскольку его выход из строя создает опасность более серьезного ухудшения работы станции и электросвязи в данном районе.

4 Защита абонентского оконечного оборудования

Изложенные ранее методы защиты станционного оборудования часто могут быть эффективно применены и к абонентскому оборудованию. Подробное описание испытаний для определения стойкости абонентского оборудования приведено в [3]. Целесообразно также рассмотреть специфические аспекты, описанные ниже.

4.1 Степень подверженности влияниям

Как показано в пункте 2.1, линии, подведенные к абонентским установкам, расположенным вблизи телефонных станций в городских или промышленных районах, обычно мало подвержены влиянию перенапряжений вследствие экранирующего действия многочисленных соседних металлических конструкций.

С другой стороны, линии, подведенные к удаленным от застроенных районов абонентским установкам, могут быть значительно подвержены влияниям вследствие их протяженности, отсутствия защитного действия окружающих сооружений, наличия воздушного ввода на абонентском окончании линии и высокого удельного сопротивления земли. Механическая прочность подвесных кабелей на абонентском окончании линии повышает опасность воздействия перенапряжений, поскольку сама линия может пропускать более высокие напряжения и токи.

4.2 Электрическая прочность

Желательно, чтобы изоляция между токоведущими частями, подключенными к линиям, и всеми частями, доступными пользователю, имела высокую электрическую прочность.

4.3 Применение защитных устройств

В тех случаях, когда телефонные линии подвержены частым и сильным влияниям, создаваемым неисправностями в линиях электропередачи и грозовыми разрядами, напряжение на линии по отношению к земле может быть ограничено подключением устройств защиты, типы которых приведены в пункте 1.3, между проводами линии и заземлением.

Электрическая прочность изоляции оконечного оборудования должна выбираться с учетом напряжения пробоя защитного устройства и полного сопротивления соединения линии с землей через устройство защиты.

4.4 Общее соединение

При установке абонентского оконечного оборудования может отсутствовать низкоомное заземление, необходимое для устройств защиты от перенапряжений, или затраты на обеспечение приемлемого низкоомного заземления могут оказаться значительными по сравнению с другими расходами на установку оборудования. Кроме того, оконечное оборудование может быть расположено вблизи заземленных сооружений, как, например, труб водопровода, или может получать питание от электрической сети.

Для того чтобы свести к минимуму как повреждения оборудования, так и опасность попадания абонента под высокое напряжение, даже если сопротивление заземления недостаточно мало, все заземленные сооружения, заземления устройств сигнализации и нейтральный провод электрической сети должны быть соединены между собой либо напрямую, либо через искровой промежуток. Хотя это соединение может оказаться достаточно дорогим, оно позволяет решить проблему обеспечения низкоомного заземления и широко применяется. В ряде стран подключение к нейтральному проводу электрической сети регулируется национальными правилами, для чего необходимо получить согласие управления энергетики.

4.5 Национальные правила

Во многих странах действуют национальные стандарты на защиту пользователей оборудования электросвязи не только от опасности, связанной с подключением к электросети, но также от опасных напряжений и токов, которые могут возникнуть в телефонных линиях.

4.6 Большие затраты на техническое обслуживание абонентских установок

Расходы на ремонт установок, подверженных влияниям, могут быть значительными вследствие удаленности от центра технического обслуживания, задержек при транспортировке и, возможно, серьезности повреждения. Кроме того, недостаточная защита является причиной неоднократных перебоев связи, которые особенно ухудшают качество обслуживания и вызывают недовольство абонентов. Этим объясняется особое внимание к мерам защиты.

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии”, МСЭ, Женева, 1974, 1978 годы.
- [2] Руководство МККТТ „Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи”, МСЭ, Женева. (Директивы пересматриваются и в будущем будут разделены на несколько томов. В дальнейшем эта ссылка будет расширена для указания соответствующего тома.)
- [3] Проект Рекомендации МККТТ „Надежность абонентского оборудования электросвязи по перенапряжениям и токам перегрузки”, приложение 3 к документу COM V-R 9.
- [4] Руководство МККТТ по заземлению установок электросвязи, МСЭ, Женева, 1976 год.

Рекомендация К.12 (Женева, 1972 г.; исправлена в Малага-Торремолиносе, 1984 г.)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ РАЗРЯДНИКОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Введение

В настоящей Рекомендации изложены основные требования, которым должны удовлетворять газонаполненные разрядники, используемые для защиты станционного оборудования, абонентских линий и абонентских установок от перенапряжений. Она предназначена для использования при согласовании существующей или разрабатываемой технической документации, выпускаемой изготовителями газонаполненных разрядников, изготовителями оборудования электросвязи или Администрациями.

Приведены лишь минимальные требования к основным характеристикам. Поскольку потребители могут находиться в различных окружающих условиях, иметь разные условия и задачи эксплуатации или сталкиваться с ограничениями экономического характера, эти требования могут изменяться или добавляться другие требования в соответствии с местными условиями.

В настоящей Рекомендации изложены общие правила по применению газонаполненных разрядников, предназначенных для ограничения перенапряжений на линиях электросвязи.

1 Назначение

Настоящая Рекомендация:

- a) дает характеристики газонаполненных разрядников, применяемых в соответствии с Рекомендацией К.11 МККТТ для защиты станционного оборудования, абонентских линий и абонентских установок от перенапряжений;
- b) применима к газонаполненным разрядникам с двумя или тремя электродами;
- c) не рассматривает монтаж и его влияние на характеристики разрядников. Приведенные характеристики относятся к самим газонаполненным разрядникам, установленным исключительно в соответствии со способом, определенным для испытаний;
- d) не рассматривает механические параметры;
- e) не рассматривает требования гарантии качества;
- f) не распространяется на газонаполненные разрядники, которые включены последовательно с нелинейными сопротивлениями и предназначены для ограничения токов, протекающих в электрических сетях;
- g) может быть недостаточной для газонаполненных разрядников, применяемых в высокочастотных или многоканальных системах электросвязи.

2 Определения

В приложении I даны определения ряда терминов, относящихся к газонаполненным разрядникам. В него включены некоторые термины, не используемые в настоящей Рекомендации.

3 Условия окружающей среды

Газонаполненные разрядники в процессе хранения должны выдерживать без повреждения следующие условия:

- температура: от -40 до $+90^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность: до 95 %.

См. также пункты 7.5 и 7.7

4 Электрические характеристики

Газонаполненные разрядники должны иметь следующие характеристики при испытании в соответствии с пунктом 5.

Пункты 4.1 — 4.5 относятся к новым газонаполненным разрядникам, а также к разрядникам, подвергаемым испытанию на продолжительность работы (см. пункт 4.6).

4.1 Напряжения пробоя (см. пункты 5.1, 5.2 и рис. 1/К.12, 2/К.12 и 3/К.12)

4.1.1 Напряжения пробоя, измеренные между электродами двухэлектродного разрядника или между каждым линейным и заземляющим электродом трехэлектродного разрядника, должны быть в пределах, указанных в таблице 1/К.12.

ТАБЛИЦА 1/К.12

Статическое напряжение пробоя, В			Максимальное динамическое (импульсное) напряжение пробоя	
номинальное	минимальное	максимальное	при 100 В/мкс	при 1000 В/мкс
230	180	300	700	900
250/1	200	450	700	900
250/2	200	300	700	900
300	255	345	700	900
350/1	265	600	1000	1100
350/2	290	600	900	1000

4.1.2 Напряжение пробоя, измеренное между линейными электродами трехэлектродных разрядников, должно быть не менее минимального статического напряжения, указанного в таблице 1/К.12.

4.2 Напряжения погасания (см. пункт 5.5 и рис. 4/К.12 и 5/К.12)

Все типы разрядников должны иметь время погасания менее 150 мс при проведении одного или нескольких из указанных ниже испытаний в соответствии с планируемой областью применения.

4.2.1 Испытания двухэлектродных разрядников проводятся по схеме, изображенной на рис. 4/К.12. В таблице 2/К.12 указаны величины элементов испытательной схемы.

ТАБЛИЦА 2/К.12

Элемент	Испытание 1	Испытание 2	Испытание 3
PS1, В	52	80	135
R 3, Ом	260	330	1300
R2, Ом	Примечание	150	150
C1, нФ	Примечание	100	100

Примечание. — В данном испытании элементы отсутствуют.

4.2.2 Испытания трехэлектродных разрядников проводятся по схеме, изображенной на рис. 5/К.12. В таблице 3/К.12 указаны величины элементов испытательной схемы.

ТАБЛИЦА 3/К.12

Элемент	Испытание 1	Испытание 2	Испытание 3
PS1, В	52	80	135
PS2, В	0	0	52
R3, Ом	260	330	1300
R2, Ом	Примечание	150	150
C1, нФ	Примечание	100	100

Примечание. – В данном испытании элементы отсутствуют.

4.3 *Сопротивление изоляции* (см. пункт 5.3)

Не менее 1000 МОм до проведения испытаний.

4.4 *Емкость*

Не более 20 пФ.

4.5 *Импульсное поперечное напряжение – трехэлектродные разрядники* (см. пункт 5.9 и рис. 6/К.12)

Время запаздывания пробоя одного разрядного промежутка относительно другого не более 200 нс.

4.6 *Испытания на продолжительность работы* (см. пункты 5.6, 5.7 и 5.8)

При проведении испытаний через разрядник пропускаются токи, указанные в пункте 4.6.1 в соответствии с номинальным током разрядника. После каждой подачи тока газонаполненный разрядник должен удовлетворять требованиям пункта 4.6.2. Разрядник, прошедший полностью данное испытание, должен удовлетворять требованиям пункта 4.6.3.

4.6.1 *Испытательные токи*

Газонаполненные разрядники, предназначенные для установки в кроссах или аналогичном оборудовании, когда подключение к линиям осуществляется через кабельную пару, должны испытываться токами, указанными в колонках 2 и 3 таблицы 4/К.12. Газонаполненные разрядники, предназначенные для подключения непосредственно к проводам воздушных линий, обозначаются потребителем как „ЕХТ” („внешний”) и должны испытываться токами, указанными в колонках 2, 3 и 4 таблицы 4/К.12.

ТАБЛИЦА 4/К.12

Номинальный ток	Переменный ток 15–62 Гц в течение 1 с		Импульсный ток 10/700, 500 импульсов, или 10/1000, 300 импульсов	Импульсный ток 8/20, 10 импульсов (только разрядники „ЕХТ”)
А (1)	А (ср. кв. зн.) (2)	Число испытаний (3)	А (пиковое) (4)	кА (пиковое) (5)
2,5	2,5	5	50	2,5
5	5	5	100	5
10	10	5	100	10
20	20	10	200	20

4.6.2 Требования, предъявляемые во время проведения испытания на продолжительность работы

Сопротивление изоляции: не менее 10 МОм.

Статическое и динамическое (импульсное) напряжения пробоя: не более соответствующих величин, указанных в пункте 4.1.

4.6.3 Требования, предъявляемые после завершения испытания на продолжительность работы

Сопротивление изоляции: не менее 100 МОм (10 МОм, если особо оговорено потребителем).

Статическое и динамическое (импульсное) напряжения пробоя: должны соответствовать величинам, указанным в пункте 4.1.

Напряжение погасания: должно соответствовать величинам, указанным в пункте 4.2.

5 Методы испытаний

5.1 Статическое напряжение пробоя (см. пункт 4.1 и рис. 1/К.12 и 2/К.12)

Непосредственно перед проведением испытания газонаполненный разрядник должен выдерживаться в темноте в течение не менее 24 часов. Испытание должно проводиться в темноте при очень медленно нарастающем напряжении, чтобы величина напряжения пробоя не зависела от скорости нарастания прикладываемого напряжения. Обычно испытание проводится при скорости нарастания напряжения 100В/с, однако могут применяться и более высокие скорости, если может быть показано, что при этом напряжение пробоя существенно не меняется. На рис. 1/К.12 показаны допустимые предельные отклонения формы волны нарастающего испытательного напряжения. Напряжение измеряется на зажимах генератора без нагрузки. Величина напряжения U_{max} на рис. 1/К.12 больше максимального допустимого значения и меньше утроенного минимального допустимого значения статического напряжения пробоя газонаполненного разрядника.

Испытание проводится по схеме, приведенной на рис. 2/К.12. Между двумя последовательными испытаниями газонаполненного разрядника при каждой полярности следует соблюдать интервал не менее 15 минут.

Испытание проводится отдельно на каждой паре электродов трехэлектродного газонаполненного разрядника при незамкнутом третьем (линейном) электроде.

Примечание. – Ниже представлены пояснения к использованию рис. 1/К.12.

Для всех значений U_{max} и номинальной скорости нарастания испытательного импульса будет достаточно одного проверочного шаблона, если его размеры соответствуют изображению формы волны и может быть подобран масштаб U и T испытательного напряжения. Это объясняется произвольным расположением точек 0 и U_{max} с точкой 0,2 U_{max} , находящейся соответственно между ними, на оси Y , а также произвольным расположением точек 0 и T_2 с соответствующими точками T_1 ($T_1 = 0,2 T_2$), 0,9 T_1 , 1,1 T_1 , 0,9 T_2 и 1,1 T_2 на оси X . Не обязательно совмещать нули осей X и Y и, фактически, вообще их показывать.

Для проведения сравнения изображения формы волны испытательного напряжения с шаблоном необходимо знать значения U_{max} и номинальной скорости нарастания рассматриваемого испытательного импульса. В качестве примера рассмотрим испытательный импульс с $U_{max} = 750$ В и номинальной скоростью нарастания 100 В/с.

Тогда: 0,2 $U_{max} = 150$ В, $T_2 = 7,5$ с, $T_1 = 1,5$ с.

Приложите шаблон к изображению формы волны испытательного напряжения и подберите масштаб вертикальной оси таким образом, чтобы точка 150 В находилась напротив точки 0,2 U_{max} , а точка 750 В — напротив точки U_{max} . Подобным образом подберите масштаб горизонтальной оси, чтобы точка 1,5 с находилась напротив точки T_1 , а точка 7,5 с — напротив точки T_2 . Передвигайте шаблон таким образом, чтобы точка 150 В на изображении формы волны скользила в пределах нижней границы испытательного „окна”, при этом оставшаяся часть испытательного импульса вплоть до 750 В должна находиться внутри испытательного „окна”.

5.2 Динамическое (импульсное) напряжение пробоя (см. пункт 4.1 и рис. 1/К.12 и 3/К.12)

Непосредственно перед проведением испытания газонаполненный разрядник должен выдерживаться в темноте не менее 15 минут. Испытание должно проводиться в темноте. Форма волны напряжения, измеренного на зажимах испытательного генератора без нагрузки, должна иметь номинальную скорость нарастания, выбранную в соответствии с пунктом 4.1, и находиться в замкнутых пределах, указанных на рис. 1/К.12. На рис. 3/К.12 приведена предлагаемая схема для проведения испытания импульсом напряжения, номинальная скорость нарастания которого составляет 1,0 кВ/мкс.

Между двумя последовательными испытаниями газонаполненного разрядника при каждой полярности следует соблюдать интервал не менее 15 минут.

Испытание проводится отдельно на каждой паре электродов трехэлектродного газонаполненного разрядника при незамкнутом третьем (линейном) электроде.

5.3 Сопротивление изоляции (см. пункт 4.3)

Сопротивление изоляции должно измеряться на каждом электроде относительно любого другого электрода газонаполненного разрядника. Измерение проводится при постоянном напряжении, величина которого должна быть не менее 100 В и не более 90 % величины минимального допустимого статического напряжения пробоя. Величина тока измерительного устройства в режиме короткого замыкания не должна превышать 10 мА. Электроды трехэлектродных газонаполненных разрядников, на которых не проводится измерение, должны оставаться в незамкнутом состоянии.

5.4 Емкость (см. пункт 4.4)

Емкость должна измеряться на каждом электроде относительно любого другого электрода газонаполненного разрядника. При проведении измерений емкости трехэлектродных газонаполненных разрядников электрод, на котором не проводится измерение, должен быть соединен с заземленным корпусом измерительного прибора.

5.5 Напряжение погасания (см. пункт 4.2)

5.5.1 Двухэлектродный газонаполненный разрядник (см. рис. 4/К.12)

Испытания должны проводиться по схеме, приведенной на рис. 4/К.12. Величины PS1, R2, R3 и C1 должны выбираться для каждого условия испытаний по таблице 2/К.12. Ток генератора импульсных напряжений должен иметь форму волны импульса 10/1000 или 10/700 с амплитудой 100 А при измерении в цепи с закороченным испытываемым газонаполненным разрядником. Полярность импульсного тока, протекающего через газонаполненный разрядник, должна совпадать с полярностью тока от PS1. Время погасания разрядника должно измеряться для каждого направления протекания тока через газонаполненный разрядник. Испытание осуществляется подачей трех импульсов с интервалами не более 1 минуты; время погасания замеряется при каждой подаче импульса.

5.5.2 Трехэлектродный газонаполненный разрядник (см. рис. 5/К.12)

Испытания должны проводиться по схеме, приведенной на рис. 5/К.12. Величины элементов схемы берутся из таблицы 3/К.12. Импульсные токи, подаваемые одновременно с токами сопровождения на искровые промежутки газонаполненного разрядника, должны иметь форму волны 10/1000 или 10/700 с амплитудой 100 А при измерении в цепи с закороченным испытываемым газонаполненным разрядником. Полярность импульсного тока, протекающего через газонаполненный разрядник, должна совпадать с полярностью тока от PS1 и PS2.

Время погасания разрядника должно измеряться при обеих полярностях импульсного тока для каждого из условий испытания. Испытание осуществляется подачей трех импульсов для каждого направления протекания тока с интервалами не более 1 минуты; время погасания замеряется при каждой подаче импульса.

5.6 Импульсная прочность – все типы газонаполненных разрядников (см. пункт 4.6)

Для проведения испытания должны использоваться новые газонаполненные разрядники, на которые подаются импульсные токи, указанные в колонке 3 таблицы 4/К.12, в соответствии с номинальным током разрядника. Половина из указанного количества измерений должна быть произведена с одной полярностью импульсов, а другая половина – с противоположной. Как вариант, половина из общего количества разрядников в выборке может быть испытана с одной полярностью импульсов, а другая половина – с противоположной полярностью. Интервал между двумя последовательными импульсами должен быть достаточным для предотвращения непрерывного нагрева газонаполненного разрядника.

Напряжение импульсного генератора должно превышать максимальное динамическое напряжение пробоя газонаполненного разрядника не менее чем на 50 %. Установленная величина амплитуды и форма волны импульсного тока проверяются при закорачивании газонаполненного разрядника. При испытании трехэлектродных газонаполненных разрядников одновременно между каждым электродом и общим электродом пропускаются независимые импульсные токи, каждый из которых имеет величину, указанную в колонке 3 таблицы 4/К.12.

После каждой подачи импульсного разрядного тока или менее часто (по согласованию между поставщиком и потребителем разрядников) должна проводиться проверка газонаполненного разрядника для определения его соответствия требованиям, указанным в пункте 4.6.2.

По окончании всей серии испытаний импульсным током разрядник должен остыть до температуры окружающей среды, а затем быть проверен на соответствие требованиям, указанным в пункте 4.6.3.

5.7 Импульсная прочность – дополнительные испытания разрядников, обозначенных „EXT” (см. пункт 4.6)

Так же, как в пункте 5.6, но для токов, указанных в колонке 4 таблицы 4/К.12.

5.8 Прочность на переменном токе – все типы разрядников (см. пункт 4.6)

Для проведения испытания должны использоваться новые разрядники, через которые пропускаются переменные токи, указанные в колонке 2 таблицы 4/К.12, в соответствии с номинальным током разрядника.

Интервал времени между двумя последовательными воздействиями переменным током должен быть достаточным для предотвращения непрерывного нагревания разрядника. Среднеквадратичное значение переменного напряжения источника тока должно превышать максимальное значение статического напряжения пробоя газонаполненного разрядника не менее чем на 50 %.

Установленная величина переменного разрядного тока и его длительность проверяются при закорачивании газонаполненного разрядника. При испытании трехэлектродных газонаполненных разрядников одновременно между каждым электродом и общим электродом пропускаются переменные разрядные токи, каждый из которых имеет величину, указанную в таблице 4/К.12.

После каждого пропуска переменного разрядного тока должна проводиться проверка газонаполненного разрядника для определения его соответствия требованиям, указанным в пункте 4.6.2.

По окончании всей серии испытаний переменным током разрядник должен остыть до температуры окружающей среды, а затем проверен на соответствие требованиям, указанным в пункте 4.6.3.

5.9 Импульсное поперечное напряжение (см. пункт 4.5 и рис. 6/К.12)

Для измерения длительности поперечного напряжения одновременно на оба разрядных промежутка должно подаваться импульсное напряжение с эффективной крутизной фронта испытательного импульса, равной 1 кВ/мкс. Измерения могут выполняться по схеме, приведенной на рис. 6/К.12. Время запаздывания пробоя одного разрядного промежутка относительно другого не должно превышать значения, указанного в пункте 4.5.

6 Излучение

Излучение, создаваемое любым радиоактивным веществом, которое применяется для предварительной ионизации разрядных промежутков, не должно выходить за допустимые пределы, указанные в правилах по защите от радиации, действующих как в стране изготовителя, так и в стране потребителя. Эта мера безопасности касается как отдельных разрядников, так и их партий (например, при упаковке разрядников в картонные коробки для транспортировки, хранения и т. д.).

Поставщик газонаполненных разрядников, содержащих радиоактивные вещества, должен предоставить рекомендации в соответствии с требованиями „Правил безопасности при транспортировке радиоактивных веществ” Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и всех других подобных международных документов по следующим вопросам:

- a) максимальное количество разрядников в одной упаковке;
- b) максимальное количество разрядников в одной партии груза;
- c) максимальное количество разрядников, которое может храниться вместе;
- d) любые другие требования к условиям хранения;
- e) меры безопасности и требования по эксплуатации;
- f) порядок уничтожения.

7 Испытания на воздействие внешних факторов

7.1 Прочность выводов

При необходимости потребитель определяет соответствующее испытание по публикации Международной электротехнической комиссии (МЭК) 68-2-21 (1975 год).

7.2 Паяемость

Паяемые выводы должны удовлетворять требованиям публикации МЭК 68-2-20 (1979 год), испытание Та, метод 1.

7.3 Теплостойкость при пайке

Газонаполненные разрядники с паяемыми выводами должны выдерживать испытание Tb, метод 1В, публикация МЭК 68-2-20 (1979 год). После остывания газонаполненный разрядник должен быть подвергнут визуальному контролю и не иметь следов повреждения. Статическое напряжение пробоя газонаполненного разрядника должно оставаться в пределах допустимых значений для данного разрядника.

7.4 Вибрация

Газонаполненный разрядник должен выдерживать без повреждения вибрацию с колебанием 0,15 мм в диапазоне частот от 10 до 500 Гц в течение 90 минут в соответствии с публикацией МЭК 68-2-6 (1970 год). Потребитель может выбрать и более тяжелое испытание из данной публикации. В конце испытания разрядник не должен иметь видимых следов повреждения, а его статическое напряжение пробоя и сопротивление изоляции должны удовлетворять требованиям, указанным в пунктах 4.1 и 4.3.

7.5 Влажное тепло (циклическое)

Газонаполненный разрядник должен выдерживать испытание D, категория IV, публикация МЭК 68-2-4. В конце испытания разрядник должен удовлетворять требованию на сопротивление изоляции, указанному в пункте 4.3.

7.6 Герметичность

Газонаполненный разрядник должен выдерживать испытание Qk, публикация МЭК 68-2-17 (1978 год), на малую утечку в течение 600 часов. В качестве испытательного газа необходимо применять гелий. Расход газа при малых утечках не должен превышать 10^{-7} бар·см³/с.

Кроме того, разрядник должен выдерживать испытание Qc, метод 1, на большую утечку.

7.7 Низкие температуры

Газонаполненный разрядник должен выдерживать без повреждения испытание Aa, публикация МЭК 68-2-1, при температуре -40°C в течение 2 часов. При температуре -40°C статическое и динамическое напряжения пробоя разрядника должны удовлетворять требованиям пункта 4.1.

8 Идентификация

8.1 Маркировка

На корпусе разрядника должна быть нанесена разборчивая и прочная маркировка, с тем чтобы потребитель мог получить при приемке следующие сведения:

- a) изготовитель;
- b) год выпуска;
- c) тип.

Потребитель может оговорить вид маркировки.

8.2 Документация

Потребителю должна предоставляться документация на разрядники, чтобы он мог получить на основании сведений, указанных в пункте 8.1, следующие дополнительные данные:

- a) полные характеристики в объеме настоящей Рекомендации;
- b) наименование радиоактивного вещества, используемого в разряднике, или указание на его отсутствие.

9 Информация для заказа

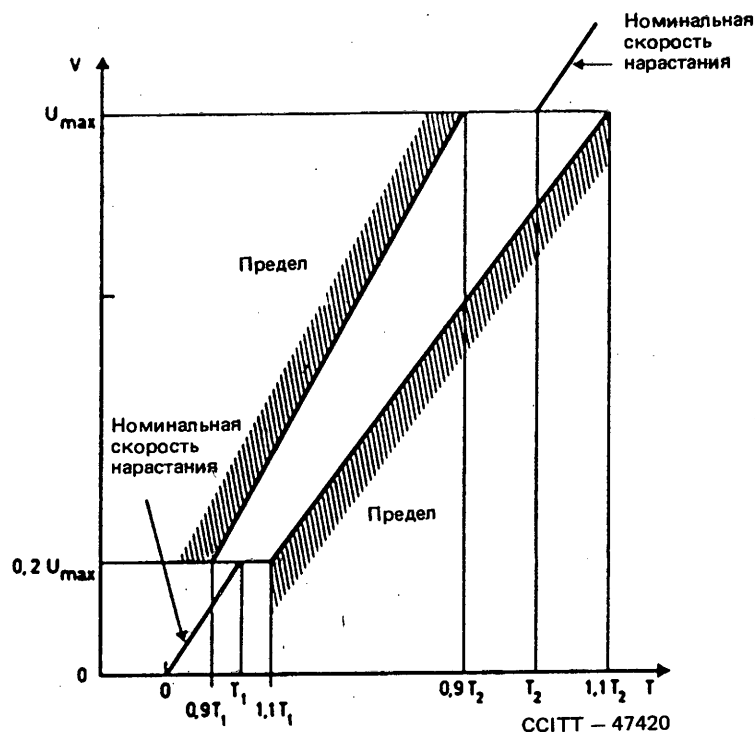
Покупатель разрядников должен предоставить следующую информацию:

- a) чертеж с указанием всех необходимых размеров, деталей корпуса и выводов (включая число электродов и тип заземляющего электрода);
- b) номинальное значение статического напряжения пробоя, выбранное из пункта 4.1.1;
- c) номинальное значение силы тока, выбранное из пункта 4.6.1;
- d) обозначение „ЕХТ”, если требуется проведение испытаний, указанных в колонке 4 таблицы 4/К.12;
- e) напряжение погасания — испытание в соответствии с пунктом 4.2;
- f) вид маркировки в соответствии с пунктом 8.1;
- g) прочность выводов — испытание в соответствии с пунктом 7.1;
- h) характеристика разрушения, если это требуется, включая вид повреждения (см. примечание);
- i) требования гарантии качества.

Примечание. — После прохождения через газонаполненный разрядник переменного или импульсного тока, величина которого значительно превышает значения, указанные в пункте 4.6.1, разрядник может разрушиться, то есть его электрические характеристики могут сильно измениться. При этом возможны два случая:

- 1) газонаполненный разрядник становится по существу изолятором и обладает большей электрической прочностью, чем первоначально. Другими словами, он представляет собой разомкнутую цепь;
- 2) газонаполненный разрядник становится резистором с конечной, обычно малой, величиной сопротивления, которая делает невозможной нормальную работу линии. Другими словами, он представляет собой короткозамкнутую цепь (этот случай может быть предпочтительным с точки зрения защиты и эксплуатации).

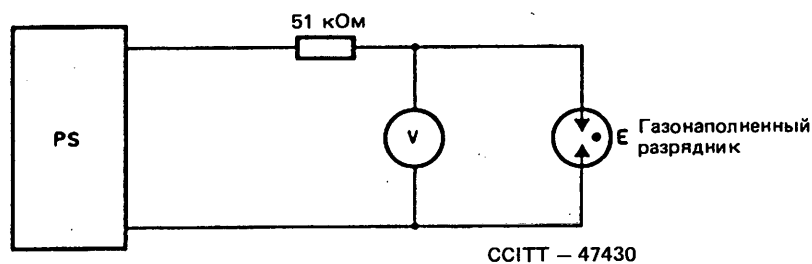
В настоящей Рекомендации не излагаются подробно методы испытания и связь между величиной разрушающего тока и его длительностью, а также не рассматривается состояние элемента после разрушения. Администрации должны отразить свои требования в этом отношении в собственной документации.



Примечание. — Форма волны напряжения для испытания на пробой (в режиме холостого хода генератора) не должна выходить за замкнутые пределы.

РИСУНОК 1/К.12

Форма волны напряжения для испытания на пробой
(пункты 4.1, 5.1 и 5.2)



PS: источник питания переменного напряжения

Примечание. — Необходимо включить устройство, обеспечивающее только однократный пробой газонаполненного разрядника.

РИСУНОК 2/К.12

Схема измерения статического напряжения пробоя
(пункты 4.1 и 5.1)

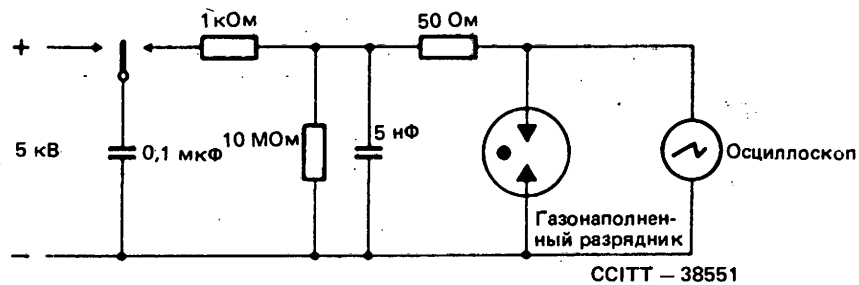
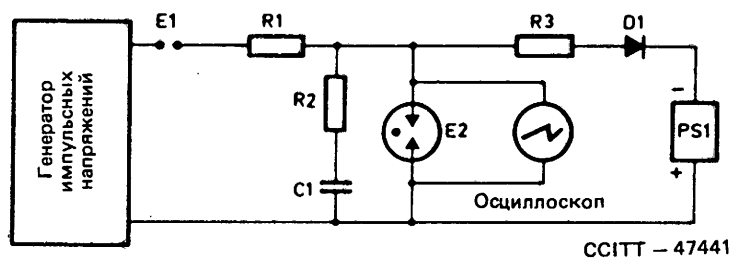


РИСУНОК 3/К.12

Схема измерения, создающая импульс напряжения с эффективной крутизной фронта волны 1 кВ/мкс (пункты 4.1 и 5.2)



PS1: источник питания постоянного тока и напряжения или батарея

E1: раздельный искровой промежуток или аналогичное устройство

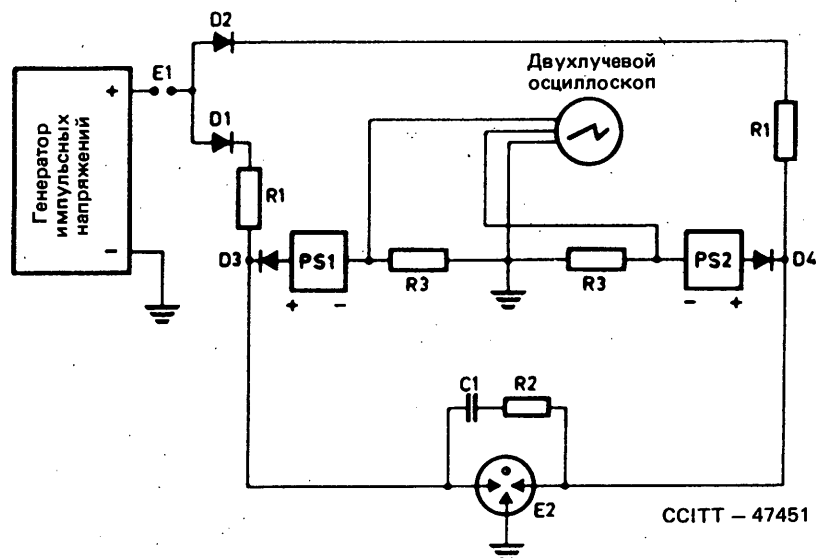
E2: газонаполненный разрядник

D1: раздельный диод или другое раздельное устройство

R1: резистор ограничения импульсного тока или цепь регулирования формы импульса

РИСУНОК 4/К.12

Схема измерения напряжения погасания двухэлектродного газонаполненного разрядника (пункты 4.2.1 и 5.5.1)



E1: разделительный искровой промежуток или аналогичное устройство

E2: газонаполненный разрядник

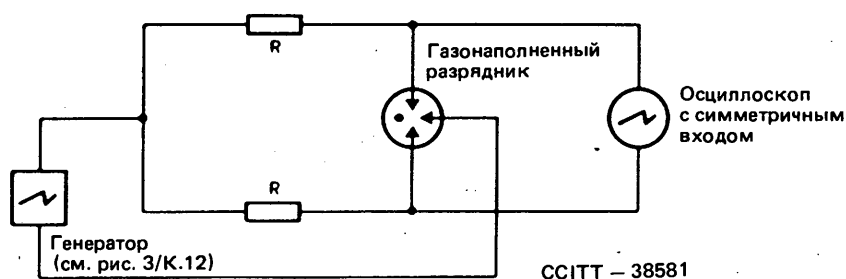
PS1, PS2: батареи или источники питания постоянного тока

R1: резисторы ограничения импульсного тока или цепи регулирования формы импульса

Примечание. – При изменении полярности источников питания постоянного тока и генератора импульсных напряжений должна изменяться полярность диодов D1 – D4.

РИСУНОК 5/К.12

Схема измерения напряжения погасания трехэлектродного газонаполненного разрядника (пункты 4.2.2 и 5.5.2)



R: линейное полное сопротивление

РИСУНОК 6/К.12

Схема измерения импульсного поперечного напряжения (пункты 4.5 и 5.9)

ДОПОЛНЕНИЕ I

Определения терминов, относящихся к газонаполненным разрядникам

I.1 ток дугового разряда

Ток, который протекает после пробоя, когда полное сопротивление цепи допускает протекание тока, превышающего ток перехода тлеющего разряда в дуговой.

I.2 напряжение дугового разряда

Напряжение, которое появляется на электродах газонаполненного разрядника при протекании через него тока дугового разряда.

I.3 срабатывание

См. „пробой”.

I.4 время погасания

Время, которое требуется газонаполненному разряднику для возвращения в непроводящее состояние после пребывания в проводящем состоянии.

I.5 характеристика разрушения

Зависимость между величиной разрядного тока и временем его протекания до момента механического разрушения газонаполненного разрядника (поломка, короткое замыкание между электродами). В течение времени от 1 мкс до нескольких миллисекунд эта характеристика определяется импульсным разрядным током, а в течение времени 0,1 с и больше — величиной разрядного переменного тока.

I.6 разрядный ток

Ток, который протекает через газонаполненный разрядник в момент его пробоя.

I.7 переменный разрядный ток

Среднеквадратичное значение переменного, почти синусоидального тока, протекающего через газонаполненный разрядник.

I.8 импульсный разрядный ток

Пиковое значение импульсного тока, протекающего через газонаполненный разрядник.

I.9 разрядное напряжение

Напряжение на электродах газонаполненного разрядника при протекании через него разрядного тока. Разрядное напряжение также называется „остаточным напряжением”.

I.10 разрядная вольт-амперная характеристика

Зависимость между мгновенными значениями разрядного напряжения и разрядного тока.

I.11 ток сопровождения

Ток, который протекает через газонаполненный разрядник от подключенного к нему источника питания во время и после протекания разрядного тока.

I.12 газонаполненный разрядник

Один или несколько искровых промежутков в замкнутой разрядной среде, отличной от воздуха при атмосферном давлении, предназначенные для защиты оборудования или обслуживающего персонала, или того и другого, от перенапряжений.

I.13 ток тлеющего разряда

Ток, который протекает после пробоя, когда полное сопротивление цепи ограничивает разрядный ток до значения, меньшего, чем ток перехода тлеющего разряда в дуговой.

I.14 ток перехода тлеющего разряда в дуговой

Ток, который должен протекать через газонаполненный разрядник для его перехода из режима тлеющего разряда в дуговой.

I.15 напряжение тлеющего разряда

Падение напряжения на электродах газонаполненного разрядника при протекании через него тока тлеющего разряда.

I.16 напряжение погасания

Максимальное значение напряжения постоянного тока на электродах газонаполненного разрядника, при котором можно ожидать погасания и возвращения газонаполненного разрядника в состояние с высоким полным сопротивлением после протекания через него импульсного тока при определенных условиях цепи.

I.17 кривая зависимости динамического напряжения пробоя от времени

Кривая, которая устанавливает зависимость величины динамического напряжения пробоя от времени до момента наступления пробоя.

I.18 форма волны импульса

Форма волны импульса задается в виде x/u и имеет время нарастания x мкс и время спада до половины пикового значения u мкс в соответствии с публикацией МЭК 60.

I.19 номинальное значение переменного разрядного тока

Величина переменного разрядного тока частотой 15—62 Гц, на которую рассчитан газонаполненный разрядник, с учетом точно определенного времени протекания через него этого тока.

I.20 номинальное значение статического напряжения пробоя

Величина напряжения, установленная изготовителем для обозначения типа газонаполненного разрядника (типовое обозначение) и указания возможностей его применения в зависимости от условий эксплуатации установки, для защиты которой он предназначен. Допустимые предельные значения статического напряжения пробоя также относятся к этому номинальному значению.

I.21 номинальное значение импульсного разрядного тока

Пиковое значение импульсного тока, на который рассчитан газонаполненный разрядник, при определенной форме волны, которая точно устанавливает время протекания тока через газонаполненный разрядник.

I.22 остаточное напряжение

См. „разрядное напряжение”.

I.23 пробой

Электрический пробой разрядного промежутка газонаполненного разрядника. Также упоминается как „срабатывание”.

I.24 напряжение пробоя

Напряжение, при подаче которого на электроды газонаполненного разрядника происходит его пробой.

I.25 напряжение пробоя при переменном токе

Минимальное среднеквадратичное значение синусоидального напряжения частотой 15 — 62 Гц, приводящего к пробую разрядника.

I.26 статическое напряжение пробоя

Напряжение, при котором происходит пробой газонаполненного разрядника при очень медленно нарастающем напряжении постоянного тока.

I.27 динамическое напряжение пробоя

Наибольшее напряжение на электродах газонаполненного разрядника в период между подачей импульса заданной формы волны и началом протекания тока.

I.28 поперечное напряжение

Разность разрядных напряжений искровых промежутков, подключенных к двум проводам цепи электро-связи, при протекании разрядного тока (для газонаполненного разрядника с несколькими искровыми промежутками).

НАПРЯЖЕНИЯ, ИНДУКТИРУЕМЫЕ В КАБЕЛЯХ С ПЛАСТМАССОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ЖИЛ

Согласно [1], при повреждении линии электропередачи допустимая продольная эдс, индуцируемая в жилах кабеля электросвязи, цепи которого заканчиваются трансформаторами, не должна превышать 60 % величины напряжения, указанного в технических условиях на кабель и используемого для проверки электрической прочности изоляции жил. Эта продольная эдс, как правило, составляет 1200 Вэфф для жил с бумажной изоляцией (60 % от 2000 В). В *Директивах* не содержится никаких указаний относительно частоты возбуждения этой эдс или ее допустимой продолжительности. Чтобы напряжение, о котором идет речь, не представляло опасности для линейного обслуживающего персонала, следует принимать соответствующие меры предосторожности, изложенные в [2].

Кабели с пластмассовой изоляцией жил могут иметь гораздо большую электрическую прочность, чем кабели с бумажной изоляцией. Кроме того, эта прочность сохраняется после всех механических воздействий на кабель во время его прокладки. Поэтому не следует опасаться пробоя изоляции между жилами и металлической оболочкой, когда кабель подвергается воздействию индуцированной продольной эдс, значительно меньшей, чем напряжение пробоя кабеля. Если значения индуцируемых напряжений составляют менее 60 % испытательного напряжения изоляции жил, указанного в технических условиях, то обеспечивается достаточно большой запас надежности. Это значение напряжения явно зависит от напряжения пробоя.

Изготовление муфт и выполнение сращиваний, имеющих такую же электрическую прочность, что и изоляция между жилами и металлической оболочкой, не требуют значительных дополнительных затрат; трансформаторы и оконечные устройства, электрическая прочность которых не соответствует указанным требованиям, должны быть надлежащим образом защищены.

Если источником индуцируемой продольной эдс является высоконадежная линия электропередачи, определение которой приведено в *Директивах*, то маловероятно, что обслуживающий персонал будет иметь контакт с жилами кабеля электросвязи именно в тот момент, когда в них возникает кратковременно индуцируемая эдс. При правильном соблюдении мер предосторожности отсутствует какая-либо опасность для обслуживающего персонала, выполняющего работы на телефонных линиях, в которых под влиянием соседних линий электропередачи могут возникнуть большие напряжения.

При отсутствии трансформаторов на концах цепей кабеля рассмотренные выше условия справедливы, если появление перенапряжений в оборудовании электросвязи предотвращается срабатыванием грозоразрядников, включенных на концах цепей.

На основании вышеизложенного МККТТ единодушно считает, что:

1 Можно конструировать кабели электросвязи, в которых изоляция жил и изоляция между жилами и металлической оболочкой выполнены из пластмассы с большой электрической прочностью. Для таких кабелей в случае повреждения на соседней линии электропередачи допустимая величина индуцируемой продольной эдс не должна превышать 60 % величины испытательного напряжения, которое прикладывается между жилами и металлической оболочкой кабеля для проверки электрической прочности изоляции жил (это испытательное напряжение, указываемое в технических условиях на кабель конкретного типа, определенным образом связано с напряжением пробоя изоляции). При этом необходимо соблюдать следующие требования:

- a) на концах цепей кабелей и в точках разветвления должны быть включены трансформаторы или грозоразрядники;
- b) оборудование, места сращивания и кабельные боксы, соединенные с жилами кабеля, должны иметь электрическую прочность, равную по крайней мере электрической прочности изоляции между жилами и металлической оболочкой кабеля; при этом упомянутые в подпункте a) трансформаторы, если их электрическая прочность не удовлетворяет требованиям, должны быть защищены грозоразрядниками;
- c) оказывающие влияния линии электропередачи должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к высоконадежным линиям, упомянутым в [3];
- d) персонал, обслуживающий кабели электросвязи, должен соблюдать меры предосторожности, изложенные в [2].

2 Максимальная допустимая индуцированная продольная эдс не должна превышать 650 В, если цепи такого кабеля подключаются к оборудованию электросвязи непосредственно, то есть без трансформаторов или грозоразрядников, и соблюдается требование, изложенное в пункте 1 c).

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи”, глава IV, раздел 2, МСЭ, Женева, 1963, 1965, 1974, 1978, 1982 годы.
- [2] Там же, глава XX.
- [3] Там же, вводная глава, пункт 3.2.3.

Рекомендация К.14 (Женева, 1972 г.; исправлена в Малага-Торремолиносе, 1984 г.)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЭКРАНА В КАБЕЛЯХ С ПЛАСТМАССОВОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Металлическая оболочка является для кабеля электростатическим экраном и в определенной степени магнитным экраном; пластмассовая оболочка ни одним из этих свойств не обладает. Некоторые кабели в пластмассовой оболочке, например кабели с бумажной изоляцией жил, имеют металлический сплошной экран, который служит также водонепроницаемым барьером. Подобный металлический экран, обычно выполняемый из продольно накладываемой алюминиевой ленты, обладает такими же экранирующими свойствами, как и сплошная оболочка из немагнитного металла с аналогичной электрической проводимостью. Экран должен быть соединен с заземляющими устройствами телефонных станций на концах кабеля и/или в промежуточных точках по его длине аналогично заземлению сплошных металлических оболочек. Кроме того, важно, чтобы в местах срачивания кабеля экран сращиваемых участков имел соединения с очень малым сопротивлением. Хотя экранирующий эффект, обеспечиваемый таким ленточным экраном, небольшой на частоте 50 Гц, он может оказаться заметным на частотах, на которых возникают шумы. Наличие экрана на кабеле ограничивает также влияние высокочастотных составляющих тока при переходных процессах, обусловленных переключением линий электропередачи и ударами молнии. Так как все более широкое применение находит малогабаритное оборудование электросвязи, весьма чувствительное к токовым перегрузкам, индуктируемые напряжения представляют особую опасность.

Исходя из вышеизложенного и практического опыта в области применения кабелей в пластмассовой оболочке,

МККТТ рекомендует следующее:

1 Поскольку кабели абонентской распределительной сети, имеющие пластмассовую оболочку без экрана, обеспечивают удовлетворительное качество соединения абонентов со станциями, их можно использовать в местах, где отсутствуют электрифицированные железные дороги переменного тока. Следует, однако, учитывать возможность появления помех вблизи электрифицированных железных дорог, особенно тех, на которых электровазы имеют тиристорные выпрямители. Необходимо также учитывать возможные помехи от радиопередатчиков, работающих в том же диапазоне частот, что и каналы, организованные по кабелю с пластмассовой оболочкой.

2 Междугородные и соединительные кабели должны иметь сплошной экран из алюминиевой ленты. Кабели с экраном, активная проводимость которого примерно вдвое меньше проводимости кабеля такого же диаметра, но в свинцовой оболочке, дают вполне удовлетворительные результаты там, где нет серьезной опасности магнитного влияния.

3 Если кабель с пластмассовой оболочкой имеет экран с проводимостью, аналогичной проводимости кабеля в обычной свинцовой оболочке, то при наличии индукции этот кабель может использоваться в тех же условиях, что и кабель в свинцовой оболочке.

4 Если эффект от экрана (см. пункты 2 и 3) на основных частотах или на частотах гармоник недостаточен для ограничения магнитного влияния близлежащих линий электропередачи и электрифицированных железных дорог, то можно повысить экранирующее действие путем:

4.1 увеличения, в случае необходимости, индуктивности металлической оболочки наложением на оболочку стальных лент внахлестку;

4.2 увеличения проводимости имеющегося экрана прокладкой под ним дополнительных металлических лент или проволок.

Необходимость в улучшении экранирующего действия может возникнуть также в том случае, когда существует опасность появления значительных помех от соседней электрифицированной железной дороги с тиристорным оборудованием.

5 Экран должен быть соединен с заземляющими устройствами станций электросвязи. На абонентских кабелях заземление осуществляется на удаленном конце. Важно также, чтобы в местах сращивания кабеля соединение экрана обеспечивалось с очень малым сопротивлением.

6 Учитывая увеличение числа энергоустановок и уровень гармоник в результате применения новой техники, следует ожидать увеличения помех. В связи с этим может оказаться чрезвычайно полезным улучшить экранирующее действие кабелей в пластмассовой оболочке, как указано выше.

7 Если кабели должны прокладываться в зоне, подверженной влиянию атмосферных разрядов, следует учитывать важность металлического экрана и его конструкции для обеспечения защиты кабелей от ударов молнии, а также соединений экрана с другими элементами (см. [1]).

8 Коэффициент экранирования

Нижеизложенные соображения позволяют достаточно точно определить коэффициент экранирования на промышленной частоте для всех типов кабеля независимо от применяемого внешнего пластмассового покрытия. В частности, показано, как может меняться используемый на практике коэффициент экранирования в зависимости от условий применения кабеля.

8.1 Общие положения

Экранирующее действие, создаваемое металлическим экраном кабеля, зависит главным образом от следующих факторов:

- частоты индуцируемой эдс. Поэтому ограничение индуцируемой эдс на промышленной частоте (16 ²/₃ Гц, 50 Гц, 60 Гц) является определяющим фактором при выборе кабеля с точки зрения безопасности обслуживающего персонала и установок. С другой стороны, на более высоких частотах также должен учитываться коэффициент экранирования для обеспечения защиты оборудования от помех. Значительное уменьшение индуцируемой эдс на промышленной частоте может быть достаточным для полной защиты;
- значения индуцируемой эдс на единицу длины в случае экранов из ферромагнитного материала. Экранирующее действие кабеля с ферромагнитным экраном будет оптимальным для определенного значения индуцируемой эдс на единицу длины; таким образом, кабель, предназначенный для снижения высоких индуцируемых эдс на единицу длины, может быть, нецелесообразно применять для защиты от низких индуцируемых эдс на единицу длины. Конструкция экрана должна соответствовать значению индуцируемой эдс на единицу длины;
- качества его заземления. Экранирующее действие определяется значением тока, протекающего по металлическому экрану. Поэтому решающим фактором является сопротивление элементов, обеспечивающих протекание тока между экраном и землей. Если заземляющие устройства предусматриваются только на концах кабелей с внешним изолирующим пластмассовым покрытием, то они должны иметь довольно малое сопротивление; предпочтительно заземлять оболочку через определенные интервалы вдоль линии. В тех случаях, когда внешнее пластмассовое покрытие является проводящим, оболочка практически заземлена непрерывно;
- длины подверженного влиянию участка линии, который подлежит защите. Если этот участок имеет большую длину, то легко улучшить экранирующее действие. В этом случае требуемое качество заземления зависит от длины.

8.1.1 Коэффициент экранирования (объяснение условных обозначений дано в дополнении I)

В Директивах даны определения следующих наиболее часто используемых коэффициентов экранирования:

- номинальный коэффициент экранирования k_n (см. рис. 1/К.14). Этот коэффициент можно легко измерить в лабораторных условиях; он используется для оценки эффективности экранирующего действия;

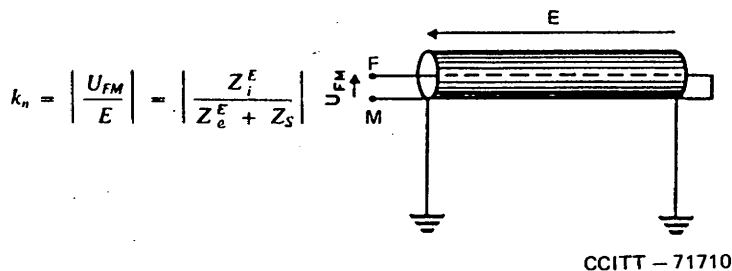


РИСУНОК 1/К. 14.

- коэффициент экранирования относительно удаленной земли $k_{ff'}$ (см. рис. 2/К.14). Этот коэффициент необходимо учитывать при обеспечении защиты от опасных и вредных влияний, при этом принимается во внимание, что провода абонентских пар на их зажимах соединены с нулевой заземляющей шиной через определенные части оборудования без трансформаторов;

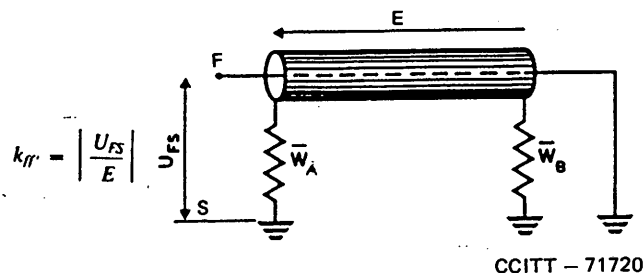


РИСУНОК 2/К.14

- коэффициент экранирования относительно оболочки k_{fm} (см. рис. 3/К.14). Этот коэффициент необходимо учитывать в тех случаях, когда единственными заземляющими устройствами являются те, которые используются для заземления экрана. Указанное относится к кабелям, предназначенным для соединения между собой станций электросвязи; экраны таких кабелей подключаются к станционным заземляющим устройствам.

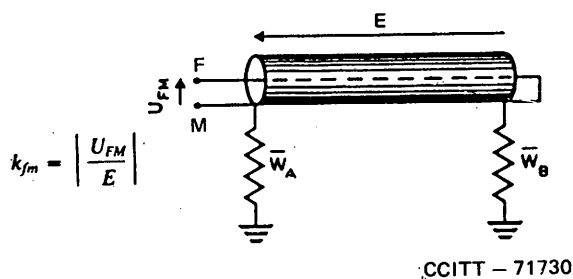


РИСУНОК 3/К.14

Директивы содержат довольно подробные пояснения и формулы для точного вычисления этих коэффициентов для большинства случаев. Вместе с тем, указанные коэффициенты экранирования могут быть вычислены по упрощенным формулам, которые часто обеспечивают достаточную степень точности. Эти формулы различны для кабелей с внешним изолирующим покрытием и внешним проводящим покрытием. В них используются постоянные и переменные величины, приведенные в дополнении I.

8.2 Кабели с внешним изолирующим покрытием

Внешнее покрытие металлической оболочки (экрана) кабеля выполняется из изолирующей пластмассы. Чтобы получить экранирующее действие, металлическая оболочка должна быть заземлена на обоих концах и, возможно, в промежуточных точках.

8.2.1 Расчет коэффициента экранирования

В этом случае коэффициент экранирования может быть вычислен с помощью следующих выражений (см. также Директивы, глава XII, пункт 3.3.3):

$$k_{ff'} = \frac{Z_i^E L + \bar{W}_A + \bar{W}_B}{Z_e^E L + Z_s L + \bar{W}_A + \bar{W}_B}, \quad (8-1)$$

$$k_{fm} = \frac{Z_i^E L}{Z_e^E L + Z_s L + \bar{W}_A + \bar{W}_B} \quad (8-2)$$

Если подходить строго, то использование этих выражений предполагает заземление оболочки лишь на концах кабеля. Тем не менее можно принять, что в достаточно сравнимых ситуациях только заземляющие устройства вблизи концов кабеля имеют еще влияние на экранирующее действие. Таким образом, эти выражения дают достаточно точную оценку экранирующего действия и в случае промежуточных заземляющих устройств.

Общим результатом подключения заземляющих устройств в промежуточных точках является улучшение $k_{ff'}$ и, наоборот, ухудшение k_{fm} .

8.2.2 Влияние длины

В тех случаях, когда для получения коэффициента экранирования k_{ff} , близкого к номинальному значению k_n , требующиеся сопротивления заземляющих устройств имеют малое значение, что делает заземление трудно выполнимым, линию можно считать „короткой”. В противном случае линия считается „длинной”. (Примечание. — Под „линией” подразумевается длина кабеля, фактически подверженного влиянию.)

8.2.2.1 „Длинные” линии

Из выражений (8-1) и (8-2) следует, что для достаточно длинных линий коэффициенты экранирования k_{ff} и k_{fm} близки к k_n . Это справедливо для длин, превышающих примерно

$$10 \frac{\bar{W}_A + \bar{W}_B}{Z_i^E}.$$

В этом случае можно использовать небронированные кабели (Z_e^E близко к Z_i^E). Кроме того, чем больше длина линии, тем большим может быть значение сопротивления заземления оболочки.

Изложенное не следует учитывать при выборе кабеля, который может быть основан единственно на кривой зависимости номинального коэффициента экранирования k_n от индуктируемой эдс, поскольку получаемая эффективность будет весьма схожей.

8.2.2.2 „Короткие” линии

В этом случае значение $Z_i^E L$ является величиной того же порядка, что и сумма значений сопротивлений заземляющих устройств на обоих концах линии $\bar{W}_A + \bar{W}_B$. Коэффициенты экранирования k_{ff} и k_{fm} могут быть вычислены с помощью выражений (8-1) и (8-2).

Для защиты „коротких” линий должны использоваться бронированные кабели; тогда экранирующее действие обеспечивается за счет увеличения значения полного сопротивления Z_e^E благодаря наложению металла с высокой магнитной проницаемостью поверх оболочки.

Для вычисления k_{ff} и k_{fm} с помощью выражений (8-1) и (8-2) необходимо знать кривую изменений Z_e^E в зависимости от тока, протекающего по оболочке (рис. 4/К. 14).

Затем осуществляются несколько простых последовательных приближений для вычисления Z_e^E при нескольких значениях сопротивлений заземляющих устройств $\bar{W}_A$ и $\bar{W}_B$, которые могут быть реализованы с учетом удельного сопротивления земли на концах линии.

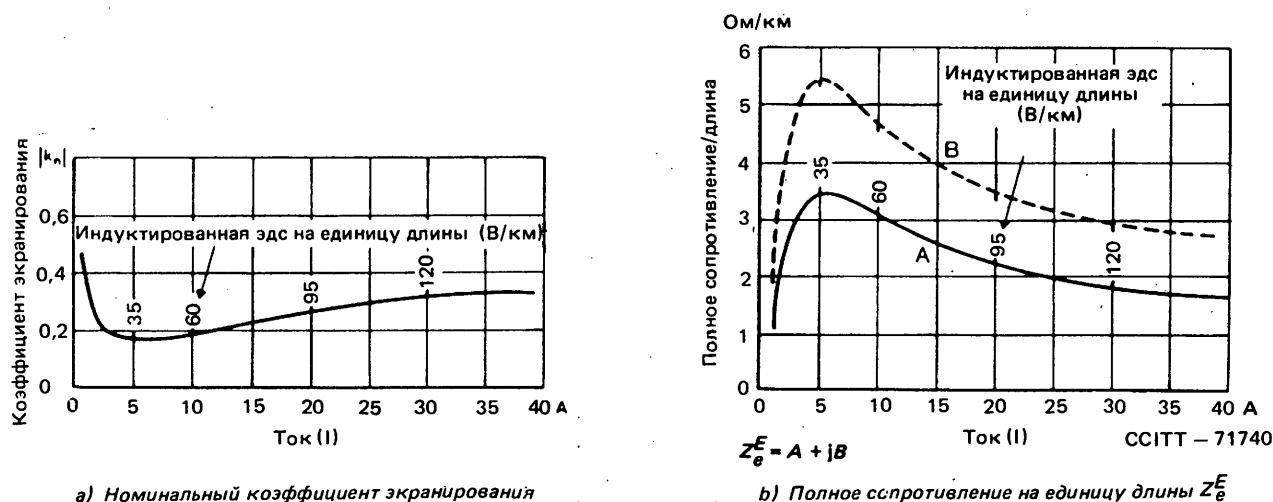


РИСУНОК 4/К.14

Параметры кабеля. Пример кабеля для защиты линий от низких индуктируемых эдс на единицу длины, обычно создаваемых линиями электротяги

8.3 Кабели с внешним проводящим покрытием

Внешнее покрытие металлической оболочки кабеля выполняется из проводящей пластмассы, обеспечивающей электрический контакт между оболочкой и окружающей кабель землей.

Если удельное сопротивление проводящей пластмассы близко или меньше удельного сопротивления окружающей земли (можно легко получить значения около $50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), то промежуточные заземления оболочки, кроме заземлений на концах кабеля, не требуются.

Ток, протекающий по оболочке, изменяется вдоль линии, особенно вблизи ее концов, а в средней части сохраняет значение, довольно близкое к $I_M = e / (Z_e^E + Z_s)$, соответствующее току, протекающему по идеально заземленной оболочке (сопротивление заземлений равно нулю).

Таким образом, для вычисления коэффициента экранирования $k_{ff'}$ мы можем воспользоваться эквивалентной схемой, в которой кабель с внешним проводящим покрытием заменяется кабелем, металлическая оболочка которого идеально заземлена на обоих концах и длина которого равна длине линии L , укороченной с каждой стороны на длину l , чтобы $|P|l = 1$.

Это означает, что кабель имеет номинальный коэффициент экранирования при более короткой длине, равной $L - 2l$.

Приблизительное значение $k_{ff'}$ можно вычислить с помощью следующего выражения:

$$k_{ff'} = k_n \left(1 - \frac{2l}{L} \right) + \frac{2l}{L}. \quad (8-3)$$

Аналогичным образом можно найти k_{fm} :

$$k_{fm} = k_n \left(1 - \frac{2l}{L} \right).$$

Выражение (8-3) неприменимо в тех случаях, когда в действительности металлическая оболочка идеально заземлена. В этом случае линия считается „длинной” и $k_{ff'} = k_{fm} = k_n$.

Для расчета требуются параметры кабеля (Z_e^E, Z_s^E), индуктируемая эдс на единицу длины и полная проводимость на единицу длины цепи „оболочка — земля” Y , которая может быть выбрана в зависимости от удельного сопротивления земли от 1 до 10 См (если ничего не известно о качестве заземления, то выбирается значение 1 См).

8.3.1 Влияние длины

Замечания, относящиеся к кабелям с изолирующим покрытием, также применимы и в этом случае.

8.3.2 „Длинные” линии

Коэффициент экранирования близок к k_n . Кабель может быть бронированным или небронированным в соответствии с требованиями.

8.3.3 „Короткие” линии

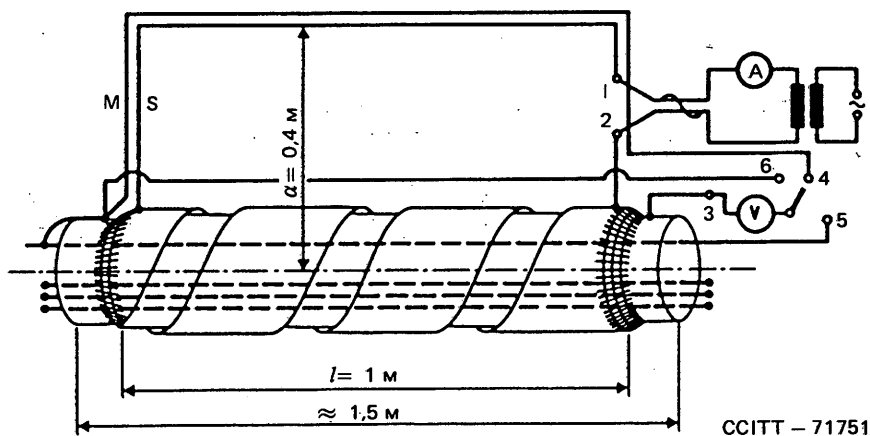
Коэффициент экранирования $k_{ff'}$ можно определить с помощью выражения (8-3). В большинстве случаев кабель должен быть бронированным.

8.4 Определение параметров кабеля

Если значения номинального коэффициента экранирования и полного сопротивления на единицу длины Z_i^E можно измерить с помощью схемы, описание которой приведено в *Директивах* (глава XII, пункт 3.3.3.4), то определение полного сопротивления на единицу длины Z_e^E может основываться:

- либо на расчете по векторной диаграмме, построенной по измеренным значениям I , U_{oi} и U_{oe} ;
- либо на измерении напряжения U_{oe} , возникающего между концом проводящего провода, расположенного снаружи металлической оболочки, и отсчетной точкой 3, при этом другой конец провода соединяется с оболочкой (рис. 5/К. 14).

Параметры некоторых кабелей с экранами, состоящими из нескольких неферромагнитных слоев с высокой проводимостью, более приближенно могут быть измерены с помощью измерительной установки коаксиального типа.



$$k_n = \frac{U_{oi}}{U_{or}} = \frac{U_{53}}{U_{43}}$$

$$Z_i^E = \frac{U_{oi}}{I \cdot l} = \frac{U_{53}}{I \cdot l}$$

$$Z_e^E = \frac{U_{or}}{I \cdot l} = \frac{U_{63}}{I \cdot l}$$

РИСУНОК 5/К.14

Измерение параметров кабеля

ДОПОЛНЕНИЕ I

(к Рекомендации К.14)

Буквенные условные обозначения, используемые в Рекомендации К.14

- Z_i^E — внутреннее полное сопротивление на единицу длины с внешним возвратом тока. Для промышленных частот постоянного тока эта величина близка к значению сопротивления на единицу длины;
- Z_e^E — внешнее полное сопротивление на единицу длины с внешним возвратом тока;
- Z_s — продольное полное сопротивление пути тока через землю на единицу длины;
- Y — полная проводимость на единицу длины цепи „оболочка — земля”;
- P — коэффициент распространения в цепи „оболочка — земля”;
- K — волновое сопротивление цепи „оболочка — земля”;
- $\bar{W}_A, \bar{W}_B$ — сопротивления заземлителей на обоих концах оболочки;
- L — длина линии, подверженной влиянию;
- e — индуцируемая эдс на единицу длины;
- E — суммарная индуцируемая эдс;
- I — ток, протекающий по оболочке.

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии”, глава 4, пункт 2.1, МСЭ, Женева, 1974, 1978 годы.

ЗАЩИТА СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ И ЛИНЕЙНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ОТ УДАРОВ МОЛНИИ И ПОМЕХ ОТ СОСЕДНИХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Предварительная рекомендация

Для уменьшения вредного влияния внешних источников на систему дистанционного питания промежуточных усилителей МККТТ рекомендует применять, по возможности, такую систему дистанционного питания промежуточных усилителей, чтобы цепь, по которой протекают токи дистанционного питания (включая подсоединенные к ней устройства), оставалась симметричной относительно оболочки и земли и чтобы в ней отсутствовали пути с низким полным сопротивлением для прохождения продольных токов.

Введение

Наличие в оборудовании электросвязи элементов, в частности полупроводниковых элементов (транзисторов и т. д.), способных выдерживать лишь малые перенапряжения, заставляет принимать меры защиты от перенапряжений, которые могут возникать на зажимах этого оборудования, даже если величины перенапряжений незначительно превышают величины рабочих напряжений, так как эти перенапряжения могут нарушать работу указанных элементов, а иногда повреждать их.

Кроме того, работа линий электросвязи, имеющих промежуточные усилители, может нарушаться за счет индуктируемых линиями электропередачи эдс, зависящих от способа эксплуатации этих линий электропередачи; вредные влияния могут возникать даже при отсутствии повреждений на указанных линиях.

Элементы, в частности полупроводниковые, входящие в состав аппаратуры и непосредственно соединенные с проводами линий электросвязи, могут оказаться поврежденными, поскольку эти провода, независимо от того, является ли линия кабельной или воздушной, подвержены перенапряжениям, возникающим от внешних источников, как, например, из-за магнитного влияния, создаваемого линиями электропередачи, или атмосферных разрядов.

Промежуточные усилители, включаемые в линию через определенные интервалы, относятся к этой категории оборудования. Поскольку дистанционное питание осуществляется по проводам кабелей или воздушных линий, используемых для передачи информации, перенапряжения могут возникать непосредственно на полупроводниковых элементах и повреждать их. Этого можно избежать, если для снижения перенапряжений в чувствительных точках до допустимых пределов или предотвращения возникновения этих перенапряжений предусмотрены защитные устройства или соответствующие схемные решения.

Принимаемые меры защиты до некоторой степени зависят от:

- величины возможной эдс;
- организации линии, особенно если используются кабели парной скрутки;
- устройств, установленных на внешнем проводнике коаксиальных пар по отношению к металлической оболочке кабеля (плавающий потенциал или заземление);
- типа дистанционного питания (переменным или постоянным током).

Если перенапряжения в проводах, используемых для дистанционного питания, возникают за счет магнитного влияния соседних линий электропередачи, то их величины можно рассчитать, используя указанные в *Директивах* методы. Для определения требуемых мер защиты необходимы дополнительные расчеты.

Если перенапряжения обусловлены атмосферными разрядами, вычисление их значений дает приблизительные результаты. Поэтому предусматриваемые меры защиты в аппаратуре должны проверяться в условиях, по возможности, наиболее близких к реальным.

Рекомендуемые ниже меры отвечают вышеизложенным требованиям. Они не претендуют на полноту изложения, поскольку техника прогрессирует; тем не менее они способны обеспечить для изготовителя и потребителя таких систем высокую степень защиты.

1 Методы расчета

1.1 В принципе, *Директивы* [1] позволяют вычислить продольную эдс, индуцированную в цепи дистанционного питания. Метод расчета применим как для условий нормальной эксплуатации, так и в случае повреждения на линии электропередачи.

1.2 Для дополнительных расчетов напряжений и токов, индуцированных в коаксиальной паре, за основу берется продольная эдс, вычисленная на основе информации, упомянутой в пункте 1.1, выше. Для выполнения этого расчета целесообразно пользоваться Рекомендацией К.16 (см. также [2]).

1.3 Для оценки напряжений и токов (пиковое значение кратковременных импульсов), которые могут возникнуть в цепях дистанционного питания в результате атмосферных разрядов, рекомендуется пользоваться руководством [3] (см. также [4]).

2 Предельные значения перенапряжений

2.1 Продольные напряжения, обусловленные магнитным влиянием

В принципе, предельные значения индуцированных продольных напряжений, указанные в [5], не должны превышаться, если нет уверенности в том, что оборудование (кабели, провода, аппаратура) способно выдержать большие напряжения. Однако можно расширить диапазон предельных значений, если предварительное исследование электрической прочности изоляции проводов и подключенного к ним оборудования указывает на отсутствие опасности пробоя (см. [6]).

Если оборудование дистанционного питания постоянно обуславливает возникновение в проводах высокого напряжения по отношению к металлической оболочке кабеля или по отношению к земле, то следует учитывать, что индуцированное напряжение накладывается на напряжение дистанционного питания (см. [7]).

2.2 Перенапряжения, обусловленные атмосферными разрядами

Допустимые предельные значения импульсных напряжений зависят, в первую очередь, от электрической прочности изоляции проводов и оборудования, соединенного с ними, если не приняты дополнительные меры (например, в системах передачи) с целью уменьшения возникающих перенапряжений до значений, меньших напряжения пробоя. Предельные значения, допустимые на зажимах аппаратуры на полупроводниках, зависят от характеристик этих элементов.

3 Меры защиты

3.1 Защита от перенапряжений

Необходимо предусматривать возможность работы устройств защиты независимо от источника перенапряжений (магнитного влияния, атмосферных разрядов и т. д.).

3.1.1 Защита жил в кабелях

При превышении предельных значений, указанных в пунктах 2.1 и 2.2, выше, рекомендуется принимать соответствующие меры защиты. Например, электрическая прочность изоляции может быть увеличена при вводе в действие новых установок. Можно также использовать кабели с улучшенным коэффициентом экранирования. Кроме того, напряжения могут ограничиваться грозозащитниками или другими устройствами ограничения величины напряжения. В последнем случае необходимо следить за тем, чтобы разрядник возвращался в исходное состояние после исчезновения перенапряжения и восстановления нормальной работы цепи дистанционного питания. Не исключается принятие других мер защиты.

В комбинированных кабелях, в которых для дистанционного питания используются отдельные пары, целесообразно принимать меры защиты для всех жил, с тем чтобы можно было предотвратить вредные влияния на кабель в целом.

3.1.2 Защита промежуточных усилителей

Защита должна предусматриваться на входе и выходе промежуточного усилителя и в цепи дистанционного питания.

Рекомендуется включать в транзисторные промежуточные усилители при их изготовлении защитные устройства, которые препятствуют возникновению опасных напряжений на чувствительных, например полупроводниковых, элементах усилителя.

При применении грозоразрядников для ограничения перенапряжений следует обращать внимание на то, что перенапряжения, величины которых меньше величины напряжения пробоя разрядников, могут быть все же достаточно большими, чтобы повредить некоторые элементы, например полупроводниковые переходы элементов, транзисторы и т. д., используемые в оборудовании. Поэтому целесообразно предусматривать внутренние устройства защиты в дополнение к грозоразрядникам путем подключения, например, диодов Зенера или фильтров (эти элементы могут быть уже предусмотрены в оборудовании). Комбинация этих элементов обеспечивает „объединенную защиту“, которая является составной частью оборудования. Она реализуется таким образом, что перенапряжения независимо от источника и величины уменьшаются постепенно до достаточно малого уровня и не могут явиться причиной повреждения.

Может оказаться, что для защиты промежуточных усилителей от напряжений, длительно индуцируемых линиями электропередачи или электротяги, потребуется меньшее число устройств защиты или защита будет дешевле, если внешний проводник коаксиальных пар имеет „плавающий потенциал“, а не заземлен. С другой стороны, когда внешний проводник заземлен, персонал, работающий на линии, лучше защищен от случайного контакта с внутренним проводником, который используется для дистанционного питания и поэтому находится под напряжением. Поскольку обе системы имеют свои достоинства и недостатки, выбор будет зависеть от эксплуатационных требований.

3.2 Меры, обеспечивающие удовлетворительную работу оборудования при наличии длительного индуцируемого в кабеле мешающего напряжения

Необходимо принимать меры для обеспечения нормальной работы промежуточного усилителя при наличии мешающих напряжений и токов, длительно индуцируемых в жилах кабеля линиями электропередачи или электротяги. Это относится к случаю, когда линии электропередачи создают помехи при нормальной эксплуатации. Величины индуцируемых напряжений и токов могут быть рассчитаны методами, указанными в пункте 1.1, выше.

4 Испытание транзисторных промежуточных усилителей с дистанционным питанием

4.1 Общие положения

Целесообразно, чтобы условия испытаний как можно ближе соответствовали реальным. При испытаниях должны имитироваться не только обычные эксплуатационные условия, но и случайные обстоятельства, когда, например, жила с обычной изоляцией имеет контакт (соприкасается) с металлической оболочкой кабеля или с землей.

4.2 Испытание импульсными напряжениями

При испытаниях импульсными напряжениями и токами рекомендуется пользоваться указаниями Рекомендации К.17. Что касается амплитуды испытательных импульсов, недостаточно увеличить ее до максимума; необходимо также произвести испытание при амплитуде меньше порогового значения напряжения срабатывания устройства защиты (например, напряжения пробоя грозоразрядников). При этом можно оценить эффективность защитных элементов (например, диодов) относительно перенапряжений малой амплитуды, энергия которых, однако, может быть достаточно большой.

В случае применения грозоразрядников следует убедиться в том, что их напряжения пробоя меньше электрической прочности изоляции проводов относительно корпуса оборудования.

4.3 Испытание напряжениями переменного тока

При дистанционном питании промежуточных усилителей по симметричным или коаксиальным парам, внешние проводники которых изолированы от земли или металлической оболочки кабеля, рекомендуется производить испытание напряжением переменного тока, чтобы убедиться, что электрическая прочность изоляции по отношению к земле выше напряжений, допускаемых Директивами при магнитном влиянии.

Для проверки поведения промежуточных усилителей и цепи их питания в случае пробоя грозоразрядников на клеммы цепи питания подается переменный ток в соответствии с указаниями Рекомендации К.17.

В системах, в которых возможны длительно индуцируемые напряжения, например из-за влияния электрифицированных железных дорог переменного тока, следует наложить на ток питания переменный ток той же частоты (50 Гц, 60 Гц, 16 $\frac{2}{3}$ Гц) и величины, что и ток, создаваемый на участке дистанционного питания, когда индуцированная эдс имеет значение, указанное в [8]. Во время прохождения этого индуцированного тока паразитная модуляция должна быть достаточно мала, чтобы на участках магистрали можно было получить значения, рекомендованные Исследовательской комиссией XV (Вопрос 11).

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи”, часть 3, МСЭ, Женева, 1963, 1965, 1974, 1978, 1982 годы.
- [2] KEMP, (J.), SILCOOK, (H. W.), STEWARD, (C. J.) „Power frequency induction on coaxial cables with application to transistorized systems”, *Electrical Communication*, Vol. 40, No. 2, pp. 255 — 266, 1965.
- [3] Руководство МККТТ „Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии”, МСЭ, Женева, 1974, 1978 годы.
- [4] KEMP, (J.), „Estimating voltage surges on buried coaxial cables struck by lightning”, *Electrical Communication*, Vol. 40, No. 3, pp. 381 — 385, 1965.
- [5] Руководство МККТТ „Директивы по защите линии электросвязи от вредных влияний линий электропередачи”, глава IV, МСЭ, Женева, 1963, 1965, 1974, 1978, 1982 годы.
- [6] Там же, глава IV, пункт 48.
- [7] Там же, глава IV, пункт 53.
- [8] Там же, глава IV, пункты 6, 7 и 35

Рекомендация К.16 (Женева, 1972 г.)

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ДЛЯ ОЦЕНКИ МАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ УСИЛИТЕЛИ С ДИСТАНЦИОННЫМ ПИТАНИЕМ ПО КОАКСИАЛЬНЫМ ПАРАМ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

1 Аннотация

В статье [1] дается общее описание всех возможных случаев магнитного влияния, что позволяет рассчитать изменение индуцированных напряжений и токов вдоль кабеля, когда последний полностью или частично подвержен магнитному влиянию. В настоящей Рекомендации даны общие указания по определению эквивалентной цепи, позволяющей быстро оценить максимальные значения напряжений и токов в жилах кабеля для различной длины и положения кабельного участка, подверженного магнитному влиянию (участка сближения). Сосредоточенные емкости и переходные сопротивления этой эквивалентной цепи должны быть соответствующим образом подобраны. При этом требуется лишь две группы параметров, в соответствии с которыми длина участка, подверженного магнитному влиянию, меньше, равна или больше половины длины секции дистанционного питания. Способ перехода от сложных формул [1] к упрощенному расчету поясняется в приложении А.

Для проверки целесообразности этой универсальной эквивалентной цепи в приложении В приводится расчет (для некоторых условий влияния, числовая оценка которых дана в [1]) максимальных значений напряжений и токов, индуцированных в проводниках кабеля, когда внешние проводники имеют „плавающий потенциал”. Эти величины представлены также в виде графиков. Можно отметить, что метод расчета, рассмотренный в приложении В, дает достаточно точные результаты для практического применения.

В приложении С поясняется, как следует изменить эквивалентную цепь в тех случаях, когда внешние проводники коаксиальных пар заземлены на концах и в точках подключения к промежуточным усилителям.

Описание аналогичного метода расчета магнитных влияний линий электропередачи на системы электросвязи, использующие кабель с коаксиальными парами, внешний проводник которых изолирован, приводится в статье [2].

2 Достоинства эквивалентной цепи

Одной из основных величин в точных формулах, приведенных в [1] и [2], является индуктированное в кабеле продольное напряжение, которое можно вычислить обычными методами (см. *Директивы МККТТ*).

Если эта величина известна, то, пользуясь формулами, можно очень точно вычислить числовые значения индуктированных напряжений и токов, но получаемые результаты будут соответствовать реальным значениям только в пределах точности определения используемых в расчете основных параметров. Практика показывает, что эта точность невысока по той причине, что некоторые важные параметры (например, эффективное удельное сопротивление земли) определить точно невозможно.

Вследствие неизбежной неточности при вычислении индуктированного продольного напряжения, значение которого берется в качестве основной исходной величины, в процессе выполнения расчета допускается дополнительная погрешность около 20 %. Поэтому точные формулы можно значительно упростить для всех случаев применения (поскольку почти всегда на практике $\Gamma \cdot l \leq 2$ и $\bar{\Gamma} \cdot l \leq 2$), а для каждого случая можно подобрать соответствующие эквивалентные цепи (Γ и $\bar{\Gamma}$ — соответственно коэффициенты распространения для цепей „оболочка кабеля — внешний проводник” и „внешний проводник — внутренний проводник”).

3 Формулировка проблемы

Можно рассмотреть эквивалентные цепи для следующих четырех случаев магнитного влияния:

- 1) заземленный внешний проводник, равномерное магнитное влияние по всей длине секции дистанционного питания (ДП);
- 2) внешний проводник, находящийся под „плавающим потенциалом”, равномерное магнитное влияние по всей длине секции ДП (см. рис. А-1/К.16);
- 3) заземленный внешний проводник, частичное сближение с влияющей линией на малой длине в середине секции ДП;
- 4) внешний проводник, находящийся под „плавающим потенциалом”, частичное сближение с влияющей линией на малой длине в середине секции ДП (см. рис. А-2/К.16).

На практике гораздо проще иметь дело с одной эквивалентной цепью, а не с четырьмя. Кроме того, было бы целесообразно с помощью данных, изложенных в [1], составить универсальную эквивалентную цепь, которая позволила бы получить достаточно точную информацию о максимальных значениях напряжений и токов, индуктируемых в кабеле даже в случае произвольно расположенного участка секции ДП, подверженного влиянию.

Как показано в приложении А, такая эквивалентная цепь может быть получена на основе схем, представленных на рис. А-1/К.16 и рис. А-2/К.16. Эта цепь приведена на рис. 2/К.16.

4 Используемые параметры и обозначения

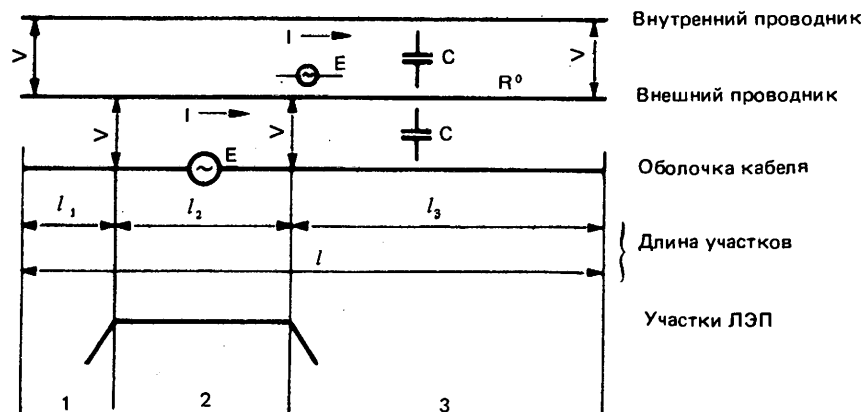
Исходя из общего предположения о том, что секция ДП с внешними проводниками, находящимися под „плавающим потенциалом”, то есть не соединенными с оболочкой кабеля или заземляющим устройством, подвергается магнитному влиянию по всей длине произвольно расположенного участка, можно получить цепь, представленную на рис. 1/К.16, где также даны пояснения используемых условных обозначений и параметров.

Символы E , C , V , I , обозначающие величины, которые относятся к цепи „оболочка кабеля — внешний проводник”, записываются без черточки над ними, а символы $\bar{E}$, $\bar{C}$, $\bar{V}$, $\bar{I}$, обозначающие величины, которые относятся к цепи „внешний проводник — внутренний проводник”, записываются с черточкой.

5 Универсальная эквивалентная цепь

Соображения, изложенные в приложении А, дают возможность определить универсальную эквивалентную цепь (рис. 2/К.16).

Эта эквивалентная цепь позволяет определять максимальные значения напряжений и токов, индуктируемых в двух цепях, представленных на рис. 1/К.16, с точностью около 10 % для всех систем дальней связи, секции ДП которых подвержены либо равномерному по всей длине, либо частичному на малой длине в середине секции магнитному влиянию. Если эта цепь применяется для других случаев сближения, следует ожидать отклонений величиной до 20 % от предполагаемых теоретических значений; однако на практике такая погрешность допустима вследствие невозможности точного определения индуктированного продольного напряжения E , а также по той причине, что рассматриваемая цепь позволяет быстро получить результаты.



ССИТТ – 38620

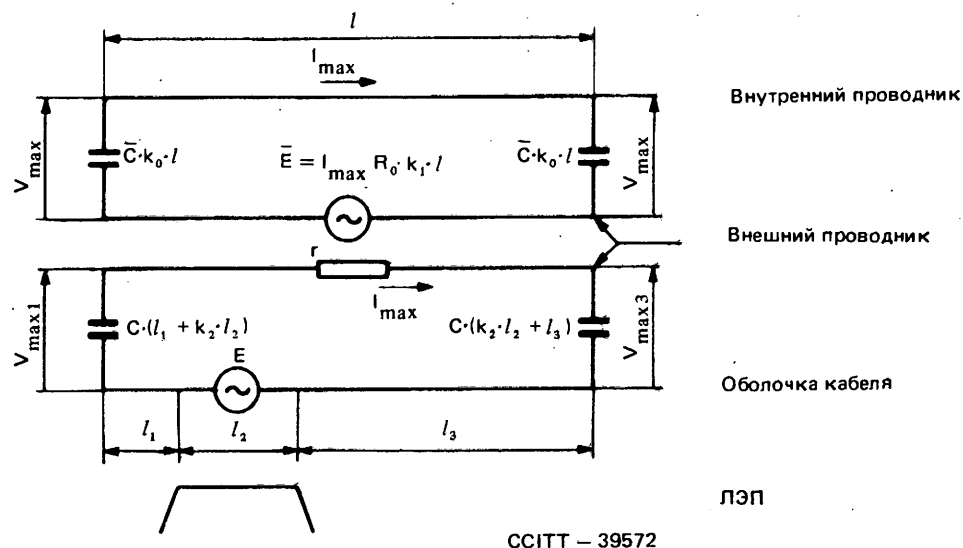
- E – продольное напряжение, индуцируемое в кабеле, В
 $\bar{E}$ – продольное напряжение в коаксиальной паре, В
 l_2 – длина участка, подверженного магнитному влиянию (участок сближения), км
 l_1, l_3 – длина участков, не подверженных магнитному влиянию, км
 l – длина секции дистанционного питания, км ($l = l_1 + l_2 + l_3$)
 $V, \bar{V}, I, \bar{I}$ – максимальные значения определяемых напряжений и токов
 $C, \bar{C}$ – эффективные емкости на единицу длины, Ф/км,
 где

$$C = \frac{C_{0s} \cdot l_s + C'_{0s}}{l_s} \text{ и } \bar{C} = \frac{C_{i0} \cdot l_s + C_f}{l_s}$$

- C_{0s} – емкость на единицу длины между внешним проводником и оболочкой кабеля, Ф/км
 C'_{0s} – емкость между внешним проводником и оболочкой кабеля в точке включения промежуточного усилителя (если таковой имеется), Ф
 C_{i0} – емкость на единицу длины между внешним и внутренним проводником, Ф/км
 C_f – сумма всех емкостей между цепью дистанционного питания и внешним проводником в разделительных фильтрах питания промежуточного усилителя, Ф
 l_s – длина усилительного участка, км
 Z_t – эффективное сопротивление связи на единицу длины между цепями „оболочка – внешний проводник” и „внешний проводник – внутренний проводник”, Ом/км
 R_0 – сопротивление на единицу длины внешнего проводника, Ом/км
 R_i – сопротивление на единицу длины внутреннего проводника с поправкой, соответствующей величине сопротивления разделительных фильтров, Ом/км

РИСУНОК 1/К.16

Схематическое изображение цепей



Значения параметров k			
при $l_2 \leq \frac{l}{2}$	k_0	k_1	k_2
	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
при $l_2 > \frac{l}{2}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$

Примечание. – Сопротивление r следует учитывать только при заземлении внешних проводников (см. приложение С).

РИСУНОК 2/К.16

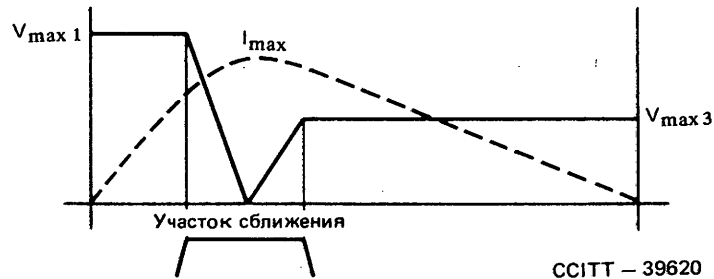
Эквивалентная цепь

Приведенные ниже замечания помогут лучше понять упрощенную схему:

- 1) предполагается, что все параметры действующих линий являются сосредоточенными, что допустимо для короткой линии, разомкнутой на обоих концах, и длины волны, соответствующей 50 Гц;
- 2) сопротивление проводников в цепях принимается во внимание только тогда, когда оно представляет собой сопротивление связи между одной цепью и другой; это сопротивление вводится в эквивалентную цепь взвешенным с помощью коэффициента k_1 , который зависит от длины подверженного влиянию участка, причем $k_1 < 1$.

В связи с этим предполагается, что представленные на рис. 2/К.16 цепи в действительности разомкнуты (для токов, индуктированных на частоте 50 Гц) на концах секции дистанционного питания. Этого может и не быть, если, в частности, источники питания включают фильтры и симметрирующие контуры для установления (фиксирования) потенциалов внутренних проводников относительно земли. Цепь „внутренний проводник — внешний проводник” нагружается большими емкостями (Ck_0l), которые должны параллельно включаться на обоих концах (рис. 2/К.16). В этом случае следует учитывать последовательное сопротивление внутреннего проводника. Практический пример дается в приложении С;

- 3) емкости Cl_1 и Cl_3 точно соответствуют емкостям участков, расположенных вне сближения с влияющей линией; емкость участка, подверженного влиянию, вводится взвешенной с помощью коэффициента k_2 , который зависит от длины этого участка, причем $2k_2 < 1$;
- 4) упрощенная схема приводит к несимметричным напряжениям в цепи „оболочка — внешний проводник”. Она позволяет определить максимальные значения индуцируемых напряжений на концах цепи. Рис. 3/К.16 дает представление, приемлемое для практических целей, об изменении напряжения и тока по всей длине секции дистанционного питания. Напряжение мало изменяется за пределами участка, подверженного влиянию, и равно нулю примерно в середине этого участка. Максимальная величина тока приходится примерно на середину рассматриваемого участка, а на концах ток равен нулю, поскольку цепь разомкнута, когда внешний проводник находится под „плавающим потенциалом”;

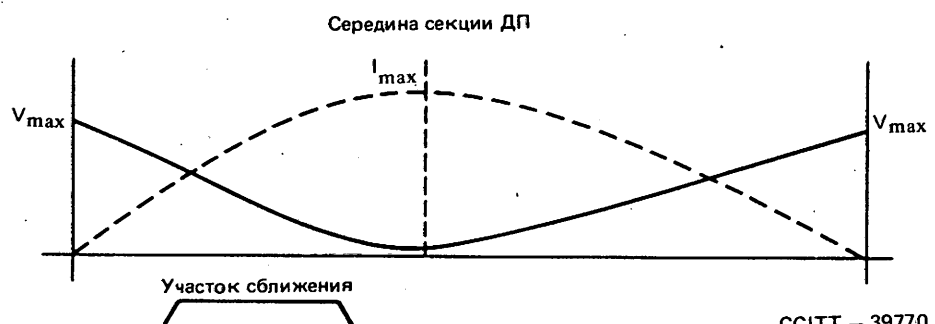


ССИТТ — 39620

РИСУНОК 3/К.16

Распределение напряжения и тока по всей длине секции ДП в цепи „оболочка — внешний проводник”

- 5) с другой стороны, в цепи „внутренний проводник — внешний проводник” напряжение и ток значительно более симметричны. Емкость вводится взвешенной с помощью коэффициента k_0 , который зависит от длины подверженного влиянию участка, причем $2k_0 < 1$;
- 6) упрощенная схема позволяет таким же образом, как в пункте 4), выше, вычислять в цепи „внутренний проводник — внешний проводник” максимальные величины напряжения и тока. В зависимости от типа рассматриваемой цепи эти величины могут быть значительно меньше, чем в цепи „оболочка — внешний проводник”. Рис. 4/К.16 дает представление, приемлемое для практических целей, об изменении напряжения и тока по всей длине секции дистанционного питания. Напряжения на концах участка распределяются симметрично; точки, где напряжение равно нулю, а ток — максимальный, всегда очень близки к середине секции дистанционного питания независимо от расположения участка, подверженного магнитному влиянию.



ССИТТ — 39770

РИСУНОК 4/К.16

Распределение напряжения и тока по всей длине секции ДП в цепи „внутренний проводник — внешний проводник”

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(к Рекомендации К.16)

**Обоснование параметров, используемых в универсальной
эквивалентной цепи**

А.1 Общий случай

В статье [1] приводятся системы уравнений, содержащих комплексные параметры передачи двух рассматриваемых цепей.

Эти уравнения позволяют полностью решить проблему для цепей, разомкнутых на обоих концах. В формулах используется большое количество членов, являющихся гиперболическими функциями от комплексных параметров, что затрудняет их применение. Для получения простой схемы, с помощью которой можно произвести несложные вычисления, необходимо выполнить поэтапно несколько приближений.

А.2 Первый этап – симметричное распределение магнитного влияния – полный расчет

Общие формулы применимы к двум случаям симметричного распределения магнитного влияния, изображенным на рис. А-1/К.16 и А-2/К.16. В первом случае сближение с влияющей линией происходит на всей секции дистанционного питания, во втором оно ограничивается небольшой длиной в середине секции. Кривые, вычерченные на основании результатов вычислений, представлены в [1], а также на рис. В-1/К.16.

А.3 Второй этап – симметричное распределение магнитного влияния – упрощенная схема

Учитываются малая электрическая длина линий и фазовый угол около $\pm 45^\circ$ вторичных параметров распространения. Это позволяет заменить распределенные элементы сосредоточенными конденсаторами и сопротивлениями, изображенными на рис. А-1/К.16 и А-2/К.16. Разложение в ряд комплексных гиперболических членов дает коэффициенты $5/16$, $1/4$, $1/2$, $1/3$.

Эквивалентные цепи, изображенные на рис. А-1/К.16 и А-2/К.16, позволяют рассчитать максимальные величины напряжений и токов в двух случаях симметричного расположения участков сближения с влияющей линией; поскольку оба случая являются крайне редкими, следует рассмотреть также общий случай несимметричного расположения участка сближения любой длины. Это является предметом рассмотрения на следующем, третьем этапе.

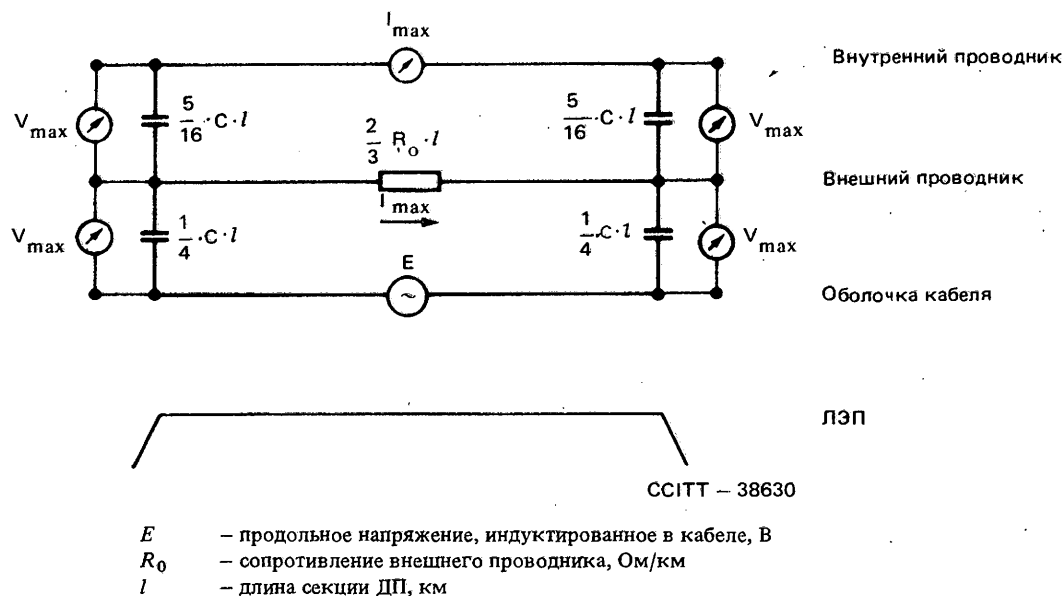


РИСУНОК А-1/К.16

Секция ДП, подверженная равномерному магнитному влиянию

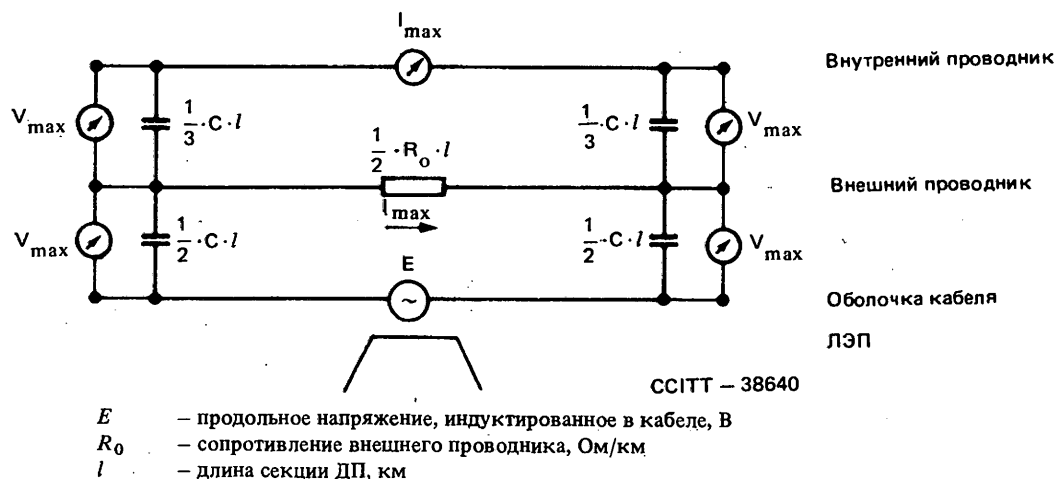


РИСУНОК А-2/К.16

Сближение с влияющей линией на малой длине в середине секции ДП

А.4 Третий этап – общий случай – упрощенная схема

А.4.1 Цепь „оболочка кабеля – внешний проводник”

На участке 2 длиной l_2 , подверженном магнитному влиянию, цепь „оболочка кабеля – внешний проводник” может рассматриваться как двухпроводная линия, подверженная равномерному магнитному влиянию по всей длине, на концах которой включены линейные емкости соседних участков 1 и 3, не подверженных магнитному влиянию.

Если участок 2 значительно длиннее участков 1 и 3 ($l_2 \gg l/2$), распределение величин тока и напряжения зависит в основном от параметров участка, подверженного магнитному влиянию, и полностью или почти полностью симметрично относительно середины этого участка. Эффективные значения емкостей, приведенные на рис. А-1/К.16 для двухпроводной линии, подверженной равномерному магнитному влиянию, могут быть приемлемы для участка 2. Таким образом, при $l_2 \gg l/2$ получаем цепь, изображенную на рис. А-3/К.16.

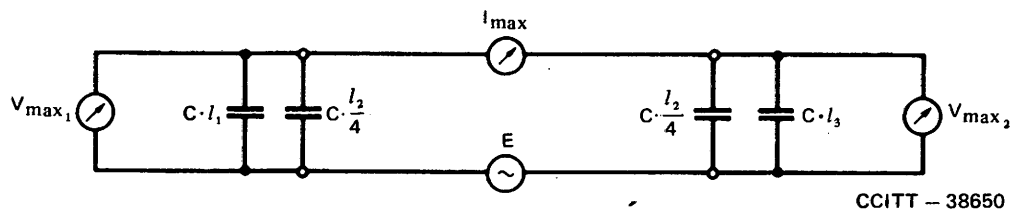


РИСУНОК А-3/К.16

Цепь „оболочка кабеля – внешний проводник” (длинный участок сближения)

Если длина участка, подверженного магнитному влиянию, значительно меньше длины участков, не подверженных магнитному влиянию ($l_2 \ll l/2$), то распределение величин тока и напряжения в основном определяется полной проводимостью на концах этого участка. Точка максимального значения индуцированного тока сдвигается к концу участка 2, который находится ближе к более длинному из двух участков, не подверженных магнитному влиянию. Наибольший сдвиг этой точки имеет место, когда участок 2 расположен непосредственно в начале или конце секции дистанционного питания ($l_1 = 0$ или $l_3 = 0$, соответственно). В этом крайнем случае условие распределения на участке l_2 то же, что и в случае двухпроводной линии, подверженной равномерному магнитному влиянию, один конец которой закорочен.

Для определения максимального значения индуцированного тока используется эквивалентная цепь, изображенная на рис. А-4/К.16.

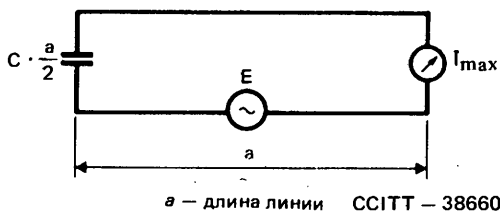


РИСУНОК А-4/К.16

Линия, закороченная на одном конце

Эта цепь получена из половины схемы, представленной рис. А-1/К.16 для линии длиной $l = 2a$, подверженной равномерному магнитному влиянию, с двумя разомкнутыми концами, когда соединение выполнено в средней точке; это соединение не изменяет условий.

Однако, поскольку в крайнем случае конец участка 2 не закорочен, а нагружен конечной полной проводимостью ($\omega C \cdot l_3$ и $\omega C \cdot l_1$, соответственно), эффективная сосредоточенная емкость $C \cdot l_2/x$, связанная с участком 2 в частично эквивалентной цепи, должна находиться между предельными значениями:

$$C \cdot \frac{l_2}{4} < C \cdot \frac{l_2}{x} < C \cdot \frac{l_2}{2} \quad \text{на конце с самым коротким продолжением и}$$

$$C \cdot \frac{l_2}{4} > C \cdot \frac{l_2}{x} > 0 \quad \text{на другом конце.}$$

Как будет показано ниже, выбор $x = 3$ на каждом конце является компромиссным решением, дающим удовлетворительные результаты при любом местоположении короткого участка, подверженного магнитному влиянию. Следовательно, для $l_2 \ll l/2$ получаем цепь, изображенную на рис. А-5/К.16.

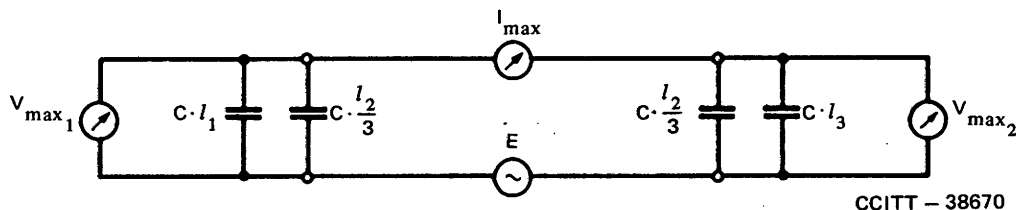


РИСУНОК А-5/К.16

Цепь „оболочка кабеля – внешний проводник” (короткий участок сближения)

А.4.2 Эффективное сопротивление передачи¹

Ток I , протекающий в цепи „оболочка кабеля – внешний проводник”, обуславливает продольное напряжение $\bar{E}$ на сопротивлении внешнего проводника коаксиальной системы. Этот ток I достигает своего максимального значения на подверженном магнитному влиянию участке и стремится к нулю на концах магистрали. Используемое при максимальном токе I эффективное сопротивление появляется в эквивалентных цепях, параметры которых определяются с помощью соответствующих упрощенных формул. Таким образом, в эквивалентную цепь вводится эффективное сопротивление. Если известны это сопротивление и ток I , то можно вычислить $\bar{E}$. Эффективное сопротивление, обозначаемое через $Z_t \cdot l$, называется эффективным сопротивлением передачи; оно заменяет сопротивление $R_0 \cdot l$. Значение $\bar{E}$ определяется из равенства $\bar{E} = I_{\max} \cdot Z_t \cdot l$.

При равномерном магнитном влиянии на всей секции дистанционного питания (см. рис. А-1/К.16) величина сопротивления передачи, которая должна быть использована, определяется из соотношения:

$$Z_t \cdot l = \frac{2}{3} \cdot R_0 \cdot l.$$

Эта величина также может использоваться, когда изменение тока I по всему пути в основном сходно с изменением тока при равномерном магнитном влиянии ($l_2 \gg l/2$).

Если подверженный магнитному влиянию короткий участок находится в середине секции дистанционного питания (см. рис. А-2/К.16), должно использоваться значение сопротивления передачи:

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} \cdot R_0 \cdot l.$$

Если подверженный магнитному влиянию короткий участок находится в начале или конце секции дистанционного питания, получаем аналогичное значение (это можно показать с помощью эквивалентной цепи для случая, когда участок, подверженный магнитному влиянию, расположен в середине секции ДП, заменив l на $2 \cdot l$).

¹ Сопротивление передачи часто также называется сопротивлением связи металлической оболочки кабеля.

Поэтому в первом приближении можно предположить, что полученная величина изменится незначительно, даже при произвольном местоположении короткого участка, подверженного магнитному влиянию.

Таким образом, получаем следующие выражения для сопротивления передачи эквивалентной цепи:

$$Z_i \cdot l = \frac{2}{3} R_0 \cdot l \text{ при } l_2 \geq \frac{l}{2} \text{ и}$$

$$Z_i \cdot l = \frac{1}{2} R_0 \cdot l \text{ при } l_2 \leq \frac{l}{2}$$

А.4.3 Цепь „внешний проводник – внутренний проводник”

В цепи „внешний проводник – внутренний проводник” продольное напряжение $\bar{E}$ возникает по всей длине секции дистанционного питания даже в случае частичного сближения с влияющей линией. Как можно заметить из рисунков в приложении В, минимальное значение напряжения $\bar{V}$ между внутренним и внешним проводниками имеет место точно в середине участка при симметричном распределении магнитного влияния и почти в середине участка во всех случаях несимметричного распределения (даже если речь идет об очень коротких участках, подверженных магнитному влиянию и расположенных в начале и конце участка дистанционного питания). Поэтому вычисленные величины тока и напряжения в коаксиальной паре будут изменяться незначительно, если предположить, что напряженность поля, возникающая за счет продольного напряжения $\bar{E}/l$, распределяется симметрично независимо от длины и расположения участка, подверженного магнитному влиянию.

При этом предположении схемы цепей, представленные на рис. А-6/К.16, полученные из схем, приведенных на рис. А-1/К.16 и А-2/К.16 для случая симметричного распределения участка сближения, могут, как правило, использоваться и для любых других вариантов расположения цепей.

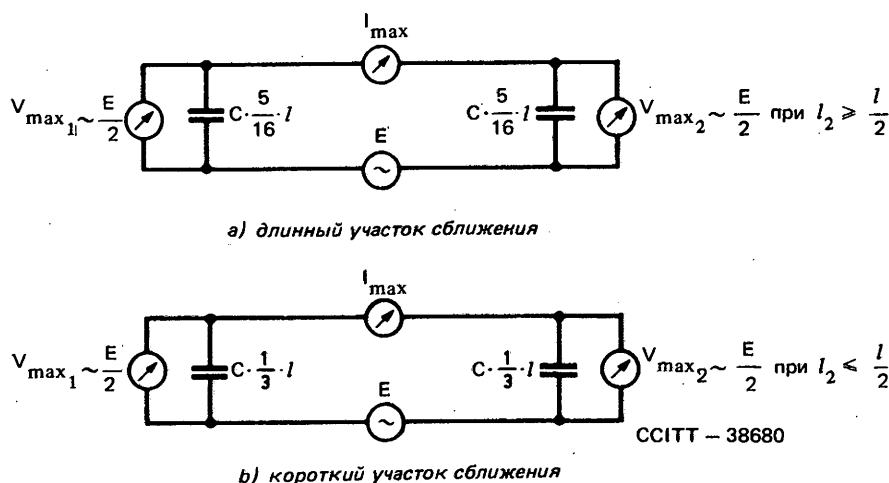


РИСУНОК А-6/К.16

Цепь „внешний проводник – внутренний проводник”

А.5 Заключение к приложению А

На основании схем, представленных на рис. А-3/К.16 – А-6/К.16, можно составить универсальную эквивалентную цепь, для которой числовые значения емкостей и сопротивлений передачи будут изменяться в зависимости от длины участка, подверженного магнитному влиянию:

$$l_2 \geq \frac{l}{2} \text{ и } l_2 \leq \frac{l}{2}, \text{ соответственно.}$$

На числовых примерах можно показать, что удовлетворительные результаты можно получить на основании параметров, принятых для случая $l_2 \leq l/2$, даже если $l_2 = l/2$; следовательно, если заменить

$$l_2 \geq \frac{l}{2} \text{ на } l_2 > \frac{l}{2} \text{ и}$$

$$l_2 \leq \frac{l}{2} \text{ на } l_2 \leq \frac{l}{2},$$

то все варианты распределения участка магнитного влияния будут связаны с двумя группами параметров, при этом погрешность в области перехода от одного варианта к другому остается в допустимых пределах.

Универсальная эквивалентная цепь изображена на рис. 2/К.16.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(к Рекомендации К.16)

Практические примеры полных и упрощенных вычислений.

Случай, когда внешние проводники находятся под „плавающим потенциалом”

С целью проверки пригодности эквивалентной цепи для случаев частичного сближения с влияющей линией при произвольном расположении участка сближения были вычислены максимальные значения напряжений и токов с помощью эквивалентной цепи для некоторых случаев расположения участка сближения, полный расчет которых был выполнен в [1]; полученные значения показаны на соответствующих графиках, воспроизведенных из [1].

Для сравнительных расчетов были использованы следующие значения, относящиеся к 300-канальной системе электросвязи по кабелю с коаксиальными парами малого диаметра:

$$C = 0,12 \text{ мкФ/км}; \quad R_0 = 6,2 \text{ Ом/км}; \quad \bar{C} = 0,2 \text{ мкФ/км}; \quad l = 64 \text{ км}.$$

На рис. 1 — 5 настоящего приложения вычерчены кривые, которые показывают напряжения и токи, индуцированные в 300-канальной системе электросвязи. Эти кривые соответствуют кривым на рис. 4/К.16 и схемам на рис. А-1/К.16 — А-3/К.16 приложения А, воспроизведенным из [1], но в качестве опорной величины выбрано продольное напряжение $E = 1000 \text{ В}$ вместо 2000 В . Максимальные значения, вычисленные приблизительно с помощью эквивалентной цепи, указаны черными точками. Во всех случаях отмечается вполне удовлетворительное согласование со значениями, полученными путем точного анализа.

Пример вычисления для рис. В-4/К.16, ниже

Предполагается, что 64-километровая секция дистанционного питания 300-канальной системы электросвязи по кабелю с коаксиальными парами малого диаметра, у которого внешний проводник находится под „плавающим потенциалом”, подвержена магнитному влиянию линии электропередачи между 12-м и 28-м километрами. Предполагается, что продольное напряжение в кабеле составляет 1000 В на частоте 50 Гц . Необходимо найти максимальные значения индуцируемых напряжений и токов в кабеле.

В этом случае имеем: $l_1 = 12 \text{ км}$, $l_2 = 16 \text{ км}$ и $l_3 = 36 \text{ км}$, $l/2 = 32 \text{ км}$. Поскольку $l_2 < l/2$, используются следующие параметры для определения эквивалентной цепи (см. рис. 2/К.16): $k_0 = 1/3$, $k_1 = 1/2$, $k_2 = 1/3$, $\bar{C} = 0,2 \text{ мкФ/км}$, $R_0 = 6,2 \text{ Ом/км}$, $C = 0,12 \text{ мкФ/км}$.

Схема вычисления:

$$\begin{array}{l} Cl_1 = 0,12 \times 12 = 1,44 \text{ мкФ} \\ Ck_2 l_2 = 0,12 \times \frac{1}{3} \times 16 = 0,64 \text{ мкФ} \\ Cl_3 = 0,12 \times 36 = 4,32 \text{ мкФ} \end{array}$$

$$\underbrace{1,44 + 0,64}_{2,08 \text{ мкФ}} + \underbrace{4,32}_{4,96 \text{ мкФ}}$$

$$\frac{1}{\omega C} \text{ на } 50 \text{ Гц} \quad 1530 \text{ Ом} \quad + \quad 640 \text{ Ом} \quad = \quad 2170 \text{ Ом}$$

$$I_{\max} = \frac{1000 \text{ В}}{2170 \text{ Ом}} = 0,461 \text{ А}$$

$$\begin{array}{l} \times \quad 1530 \text{ Ом} = V_{\max_1} = 705 \text{ В} \\ \times \quad 640 \text{ Ом} = V_{\max_2} = 295 \text{ В} \\ \times \quad 198,5 \text{ Ом} = \bar{E} = 91,6 \text{ В} \end{array}$$

$$\frac{1}{2} R_0 l = \frac{1}{2} \times 6,2 \times 64 = 198,5 \text{ Ом}$$

$$\frac{1}{2} \bar{E} \approx \bar{V}_{\max_1} \approx \bar{V}_{\max_2} = 45,8 \text{ В}$$

$$\frac{1}{3} \omega \bar{C} l = \frac{1}{3} \times 314 \times 0,2 \times 10^{-6} \times 64 = 1,34 \times 10^{-3} \text{ Ом}$$

$$\bar{I}_{\max} = 1,34 \times 10^{-3} \times 45,8 = 61,5 \text{ мА}$$

ТАБЛИЦА В-1/К.16

Сравнение значений, полученных с помощью эквивалентной цепи,
и максимальных значений, вычисленных с большой точностью

(Значения взяты из рис. В.4/К.16)

Максимальные значения	Значения точных вычислений	Значения эквивалентной цепи	Отклонения от значений точных вычислений
$V_{\max_1}$	685 В	705 В	+ 2,9 %
$V_{\max_2}$	315 В	295 В	- 6,3 %
$I_{\max}$	0,455 А	0,461 А	+ 1,3 %
$\bar{V}_{\max_1}$	48 В	45,8 В	- 4,6 %
$\bar{V}_{\max_2}$	37,5 В	45,8 В	+ 22 %
$\bar{I}_{\max}$	55 мА	61,5 мА	+ 11,8 %

Это сравнение показывает, что, за исключением значения $\bar{V}_{\max_2}$, все отклонения от значений, полученных в результате точного вычисления, не превышают 12 %, а значения, полученные с помощью эквивалентной цепи, обычно оказываются больше значений, полученных с помощью точных вычислений. Отклонение на 22 %, наблюдаемое при $\bar{V}_{\max_2}$, не имеет практического значения, поскольку оно касается меньшего из двух максимальных значений V .

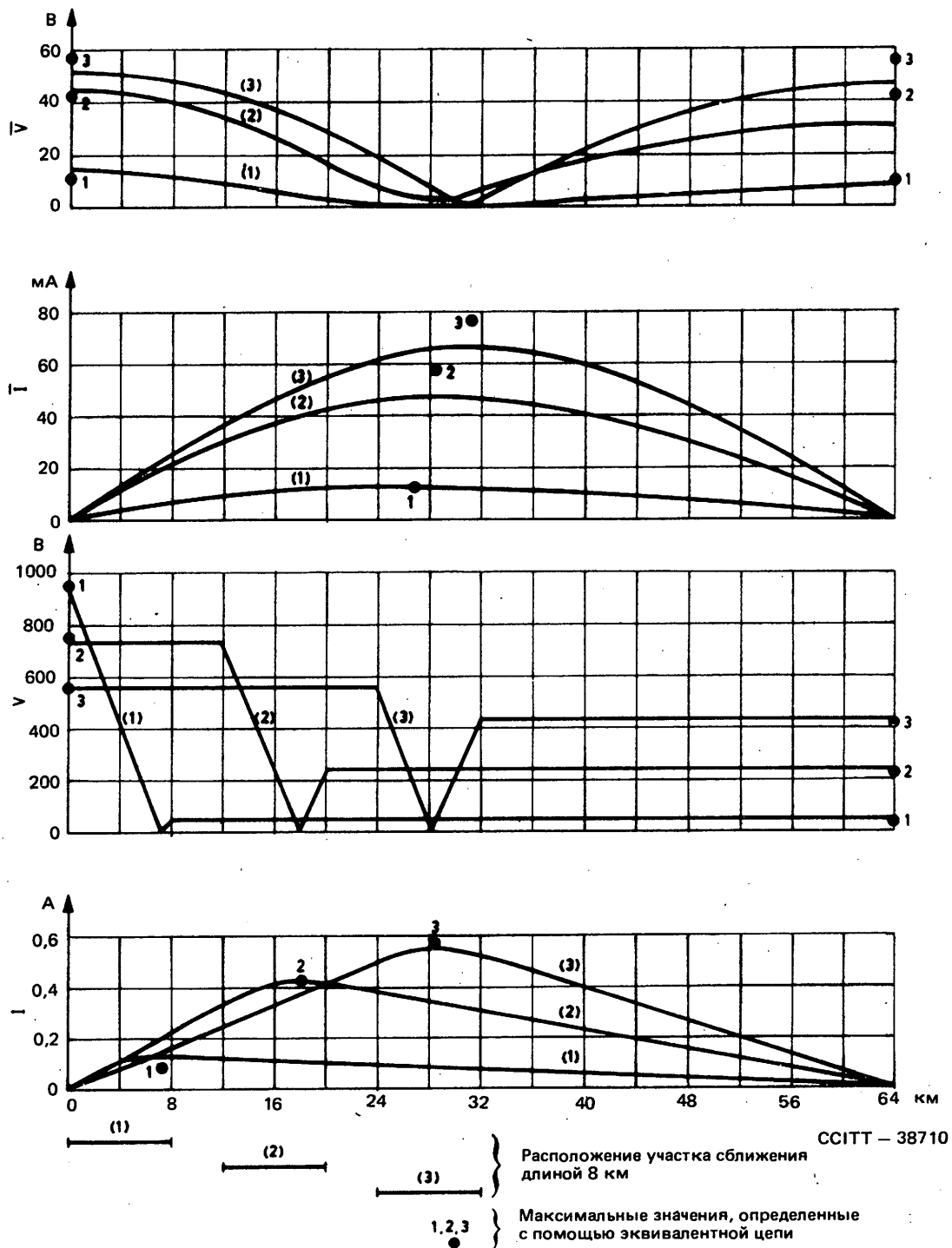


РИСУНОК В-1/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае симметричного магнитного влияния. Напряжение, индуцируемое по всей длине участка, 1000 В (внешние проводники коаксиальной пары под „плавающим потенциалом”)

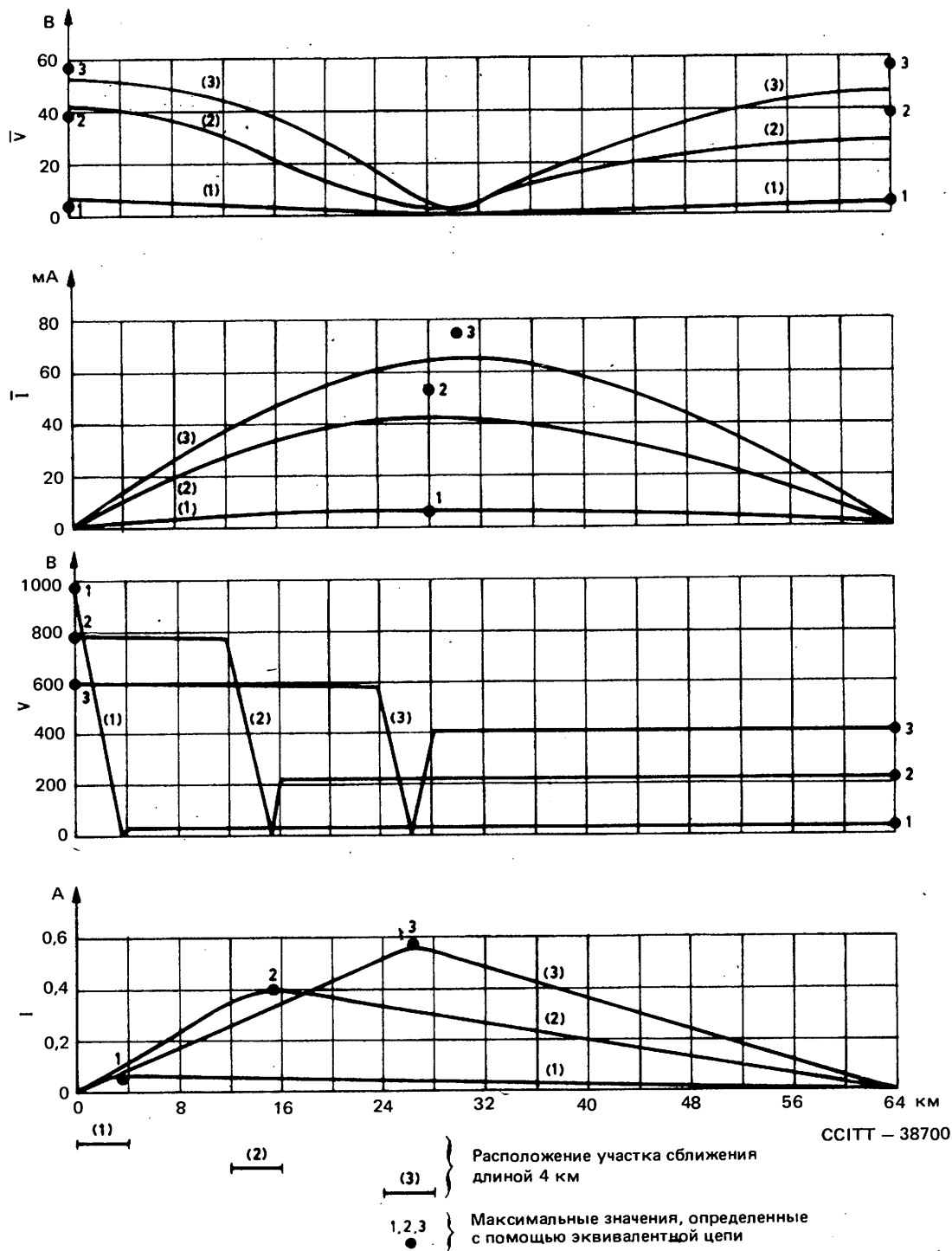


РИСУНОК В-2/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния (длина участка сближения 4 км). Напряжение, индуцируемое по всей длине участка, 1000 В (внешние проводники коаксиальной пары под „плавающим потенциалом”)

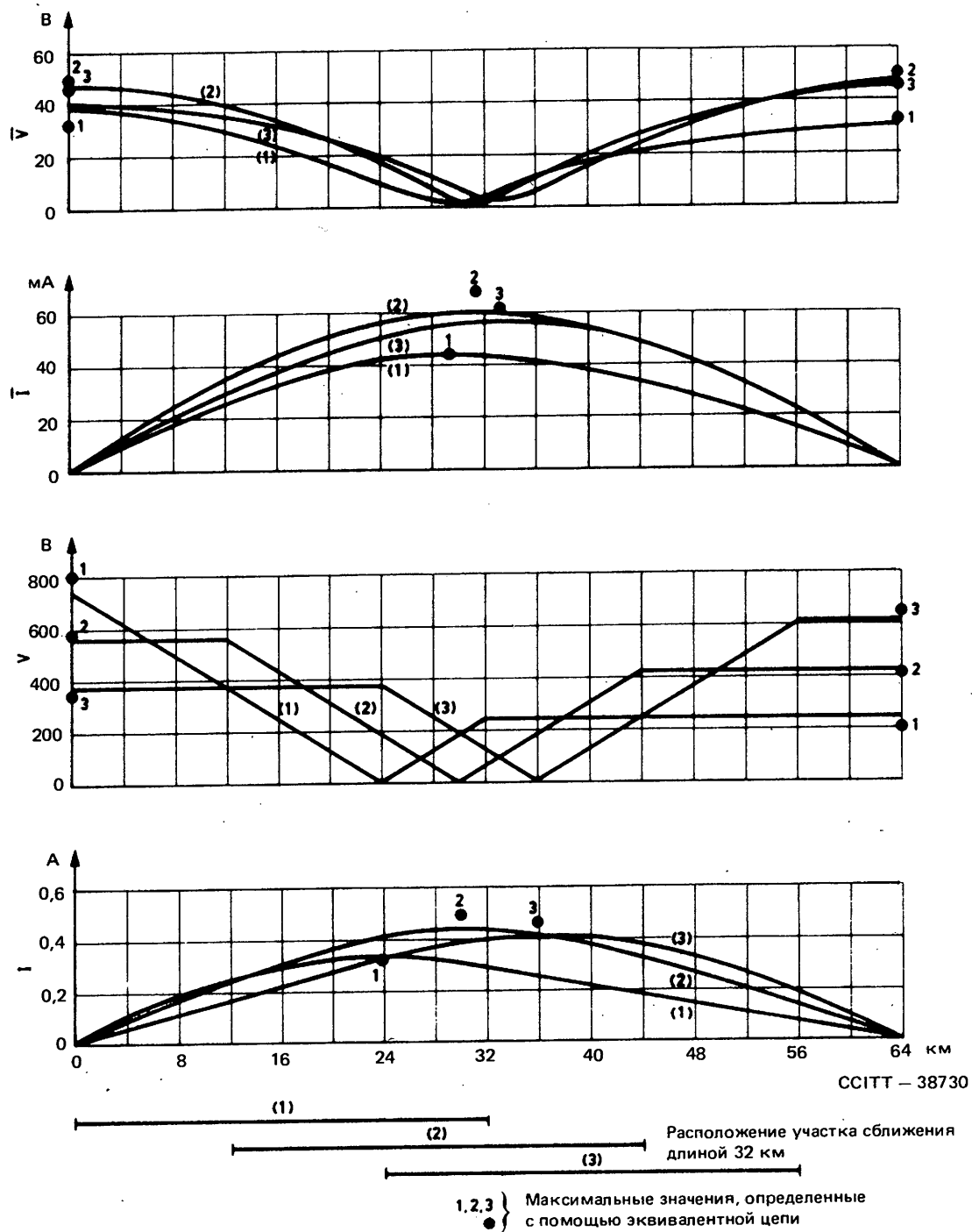


РИСУНОК В-3/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния (длина участка сближения 8 км). Напряжение, индуцируемое по всей длине участка, 1000 В (внешние проводники коаксиальной пары под „плавающим потенциалом”)

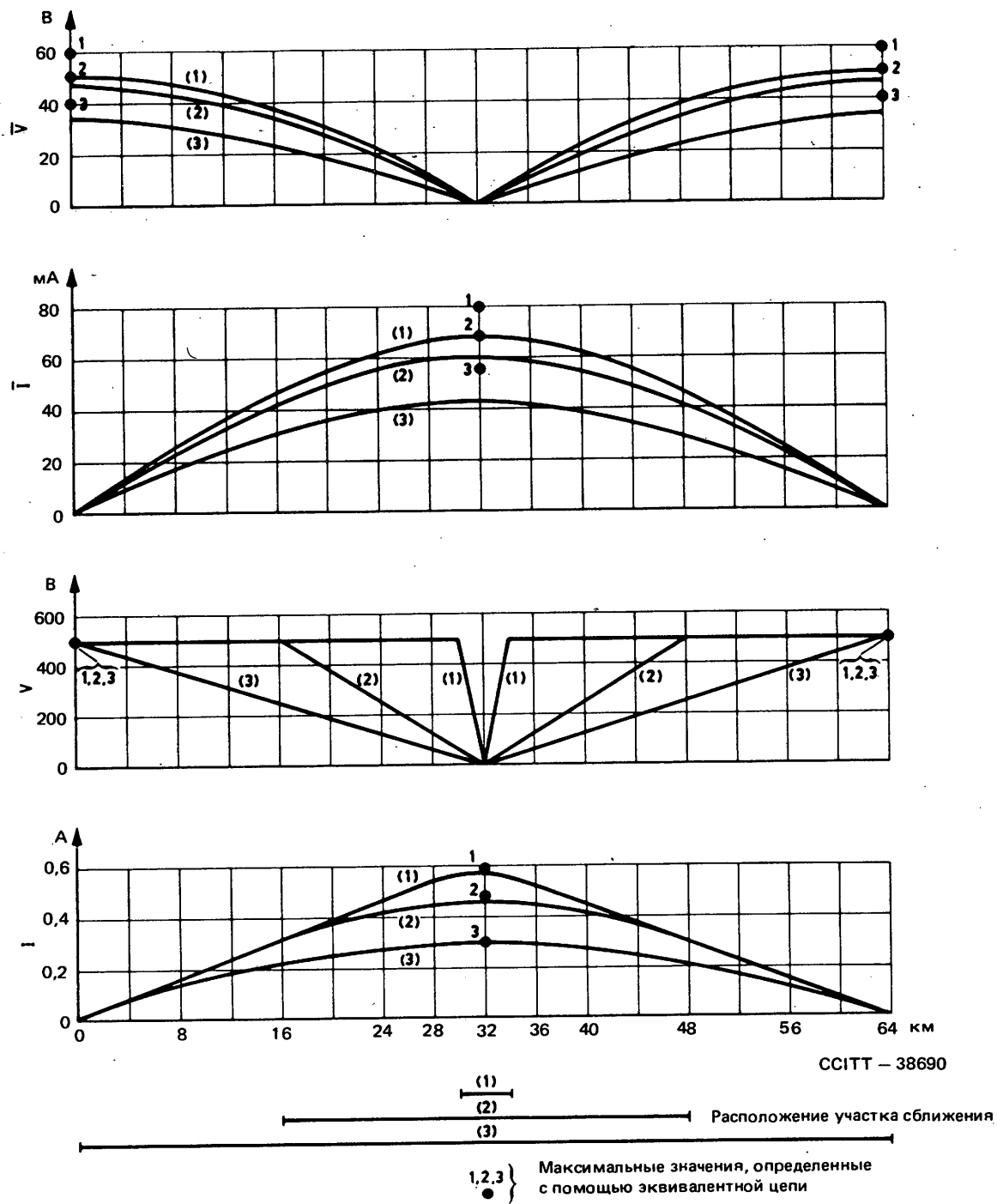


РИСУНОК В-4/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния (длина участка сближения 16 км). Напряжение, индуцируемое по всей длине участка, 1000 В (внешние проводники коаксиальной пары под „плавающим потенциалом”)

ПРИЛОЖЕНИЕ С
(к Рекомендации К.16)

**Практические примеры полных и упрощенных вычислений.
Случай, когда внешние проводники заземлены**

С.1 Внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и имеют слабую связь с землей

Если внешние проводники заземлены, внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и соединены с землей через конденсаторы малой емкости, в эквивалентной цепи в расчет следует принимать только ту ее часть, которая соответствует цепи „внешний проводник — внутренний проводник”, и вместо C включить емкость $\bar{C}$. Сопротивление $k_1 R_0 l$, соответствующее сопротивлению связи, также опускается. Универсальная цепь в этом случае сводится к схеме, изображенной на рис. С-1/К.16.

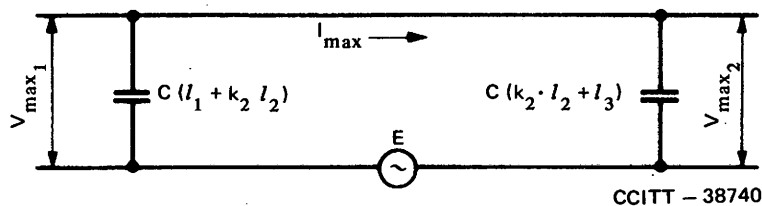


РИСУНОК С-1/К.16

Цепь „оболочка кабеля — внешний проводник”
(длинный участок сближения)

С.2 Внутренние проводники заземлены через низкое полное сопротивление на питающем усилительном пункте

Универсальная цепь в этом случае сводится к схеме, изображенной на рис. С-2/К.16

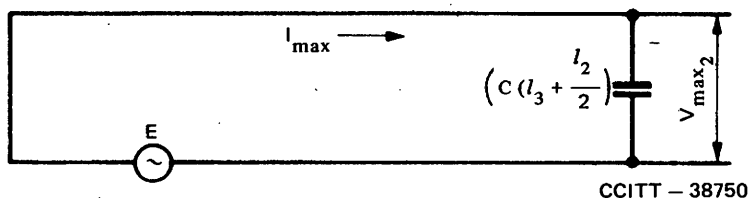


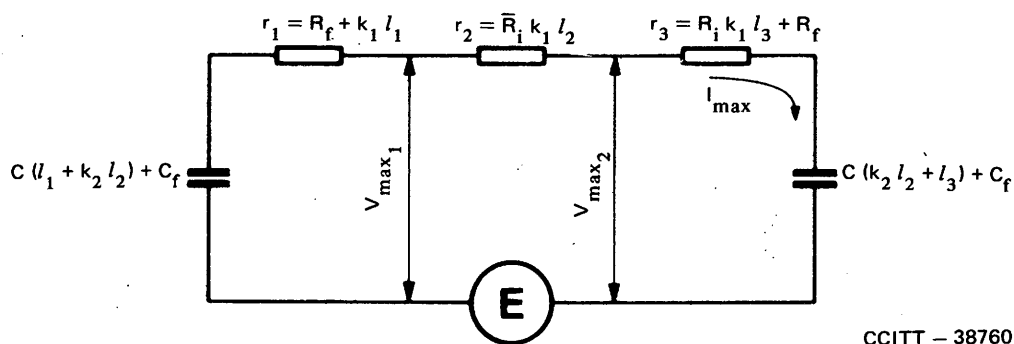
РИСУНОК С-2/К.16

Линия, закороченная на одном конце

С.3 Внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и имеют сильную связь с землей

Если внешние проводники заземлены, внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и соединены с землей через конденсаторы большой емкости (несколько мкФ), упрощенная цепь, представленная на рис. С-1/К.16, уже недостаточна. Следует учитывать также сопротивление внутренних проводников коаксиальных пар (сопротивления включены последовательно в цепь дистанционного питания промежуточных усилителей).

Для того чтобы убедиться в возможности такого преобразования эквивалентной цепи, был произведен расчет на конкретном примере, отражающем фактические условия эксплуатации. Речь опять идет о 300-канальной системе электросвязи по коаксиальным парам малого диаметра. Рассматривалась цепь длиной 66 км, емкостью $\bar{C} = 0,11$ мкФ/км, с сопротивлением $R_i = 17$ Ом/км, причем постоянное (регулируемое) сопротивление развязки систем питания эквивалентно сопротивлению $R_F = 50$ Ом, последовательно соединенному с емкостью $C_F = 15$ мкФ. Соответствующая цепь изображена на рис. С-3/К.16.



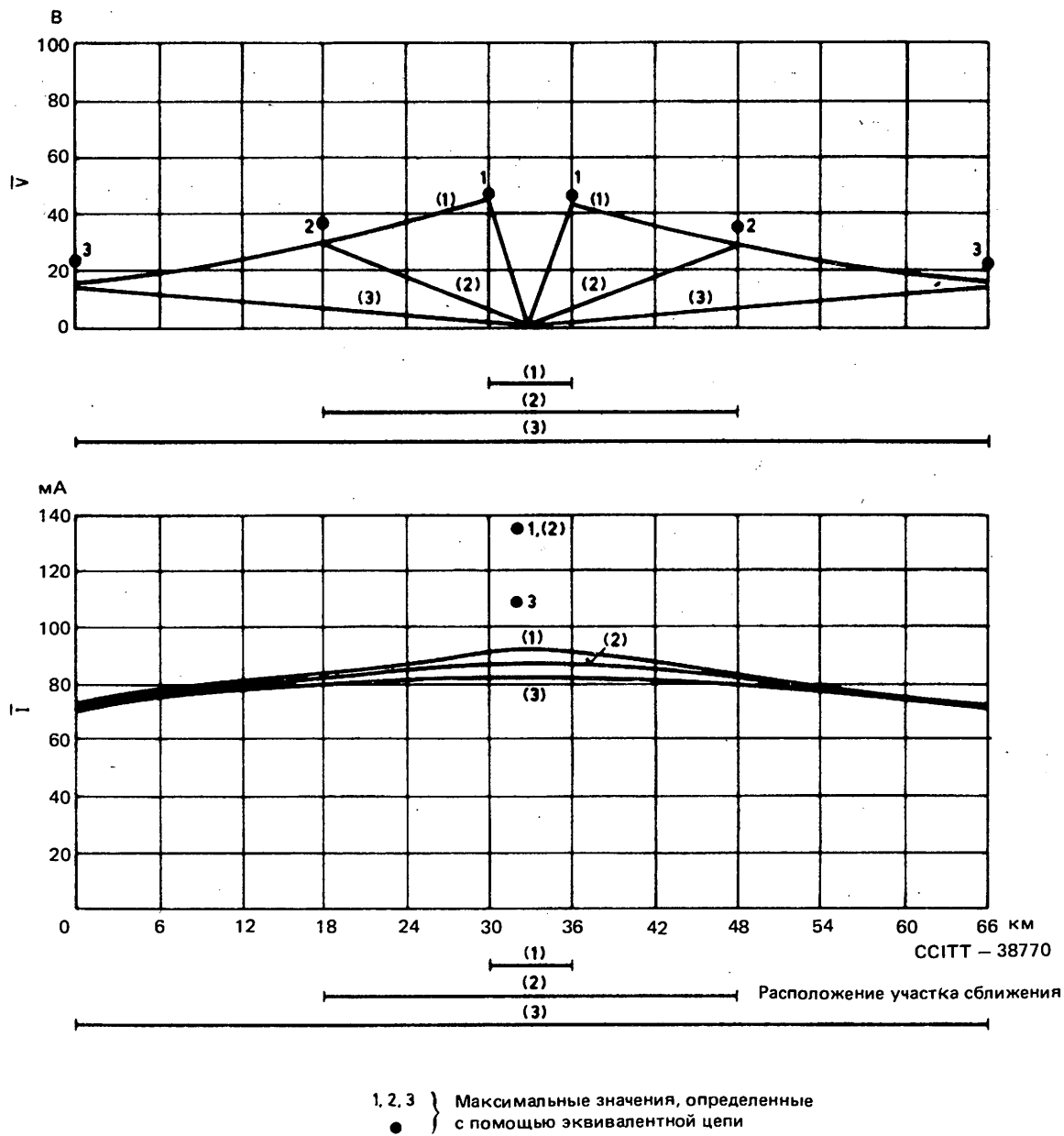
ССИТТ — 38760

Примечание — $\bar{R}_i$ — сопротивление внутреннего проводника на 1 км плюс суммарное сопротивление всех разделительных фильтров промежуточного усилителя, приведенное к эквивалентному сопротивлению на 1 км.

РИСУНОК С-3/К.16

Эквивалентная цепь в случае, когда внешние проводники коаксиальных пар заземлены, а внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и имеют связь с землей через конденсаторы большой емкости

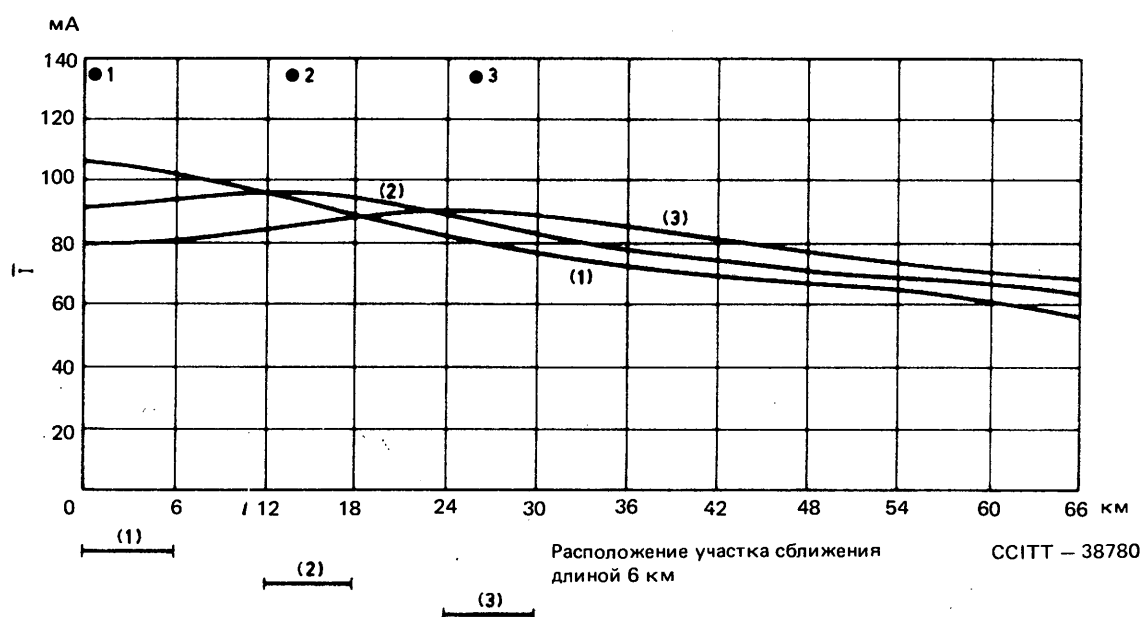
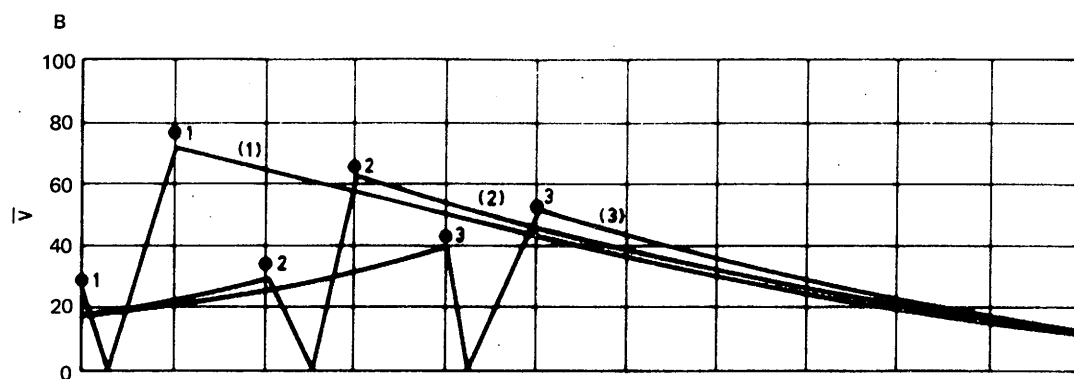
Предполагается, что с учетом коэффициента защитного действия кабеля мешающее напряжение должно составлять 100 В; если напряжение нельзя ограничить до такой величины, возможно другое решение, например вариант с „плавающим потенциалом”. Для индуцируемого напряжения $E = 100$ В с учетом общего коэффициента защитного действия оболочки кабеля и заземленного внешнего проводника на рис. С-4/К.16 — С-7/К.16 показаны графики напряжений и токов, полученные в результате вычислений по полной схеме. На этих же рисунках точками нанесены значения, полученные с помощью эквивалентной цепи (см. рис. С-3/К.16). Соответствие двух серий результатов вполне удовлетворительное.



Длина участка сближения: 6 км, 30 км или 66 км
 Индуцированное напряжение: 100 В

РИСУНОК С-4/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае симметричного магнитного влияния (внешний проводник коаксиальной пары заземлен)

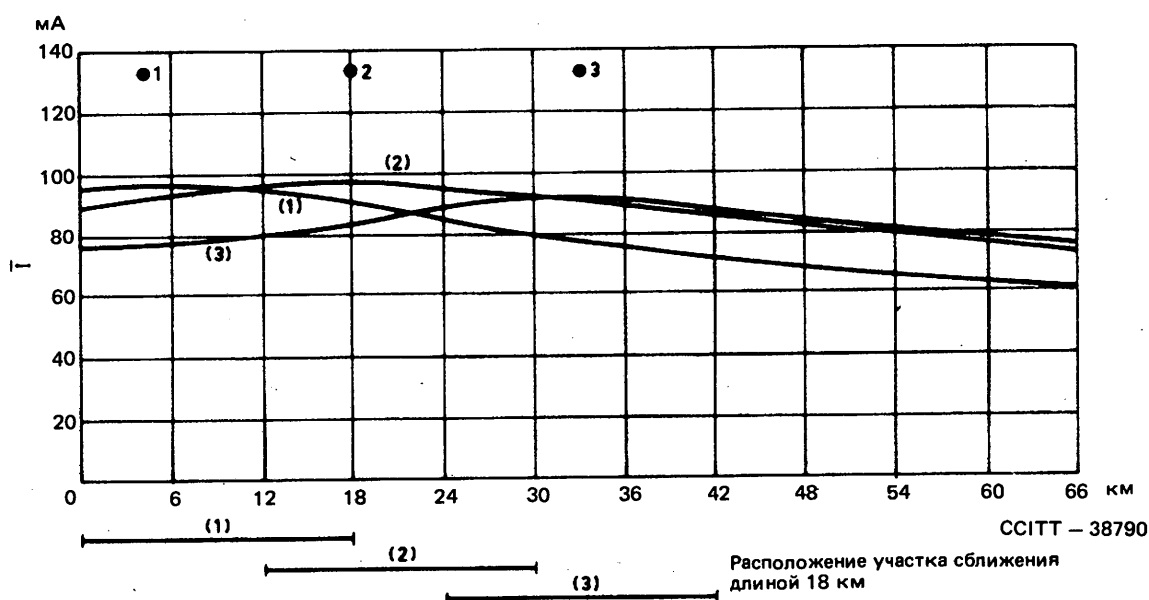
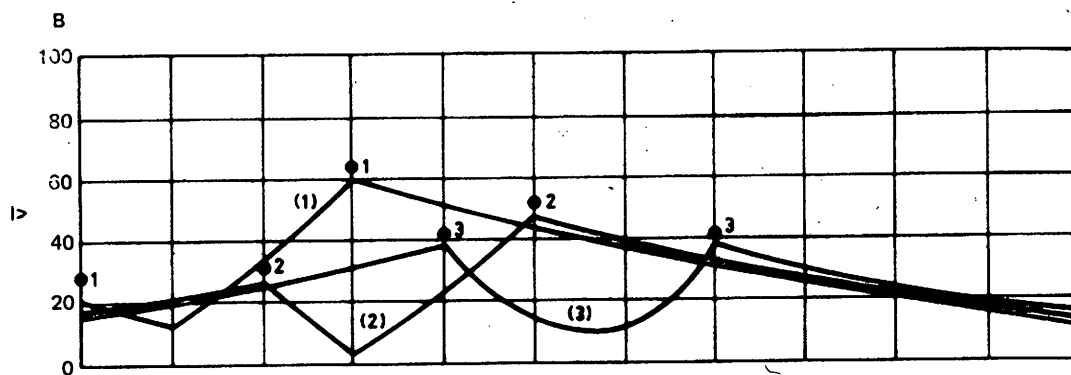


1, 2, 3 } Максимальные значения, определенные
 ● с помощью эквивалентной цепи

Длина участка сближения: 6 км
 Индуцированное напряжение: 100 В

РИСУНОК С-5/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного
 магнитного влияния (внешний проводник коаксиальной пары заземлен)

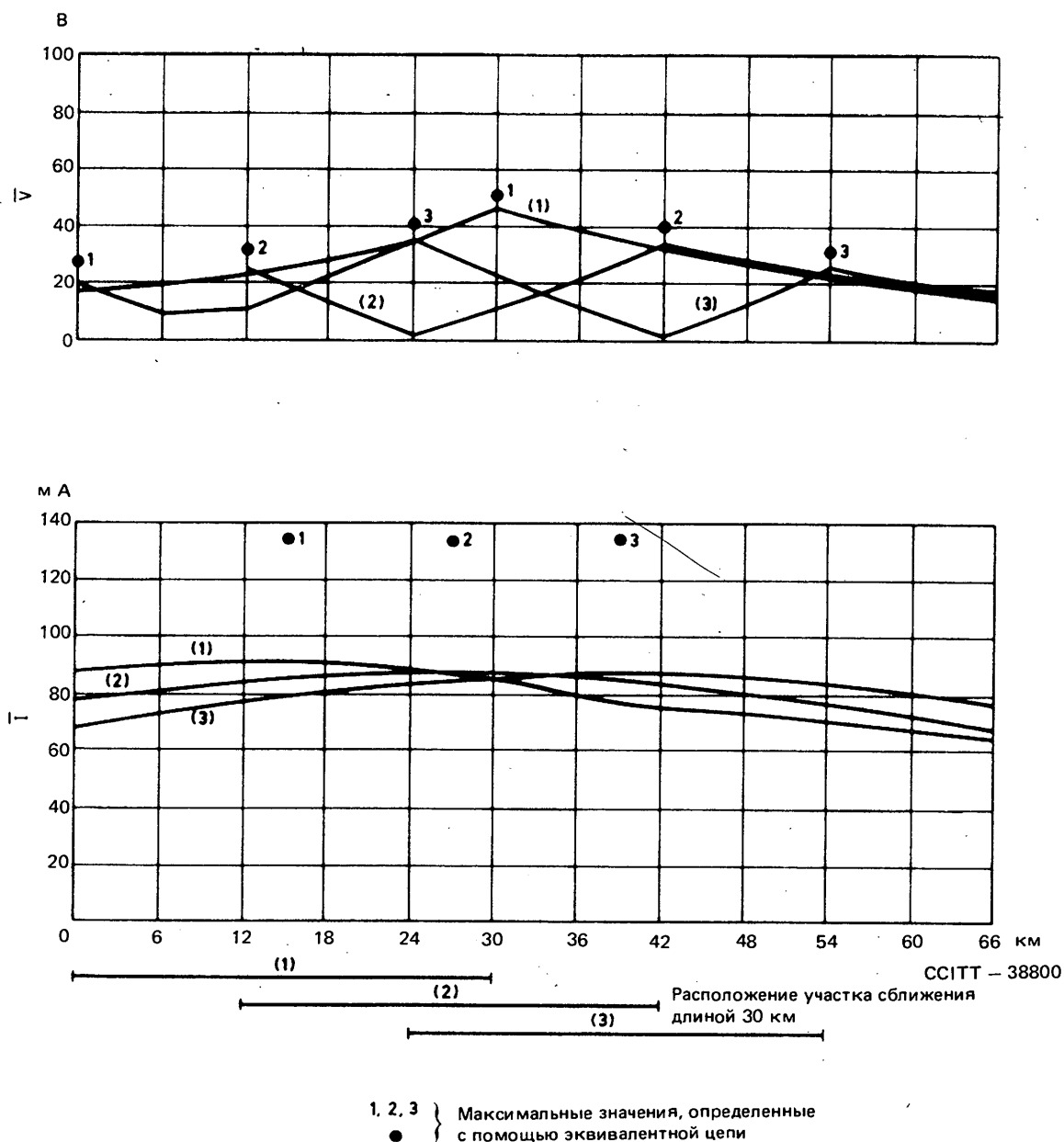


1. 2. 3 } Максимальные значения, определенные
 • } с помощью эквивалентной цепи

Длина участка сближения: 18 км
 Индуцированное напряжение: 100 В

РИСУНОК С-6/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного
 магнитного влияния (внешний проводник коаксиальной пары заземлен)



Длина участка сближения: 30 км
Индуктированное напряжение: 100 В

РИСУНОК С-7/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния (внешний проводник коаксиальной пары заземлен)

Библиография

- [1] KEMP (J.), SILCOOK (H. W.), STEWARD (C. J.) "Power frequency induction on coaxial cables with application to transistorized systems", *Electrical Communication*, Vol. 40, No. 2, pp. 255 — 266, 1965.
- [2] ZALZMANN (W.), VOGEL (W.) "Berechnung der Starkstrombeeinflussung von Nachrichtenkabeln mit Koaxialpaaren und isolierten Aussenleitern" (Calculation of power current interference in telecommunication cables with coaxial pairs and insulated outer conductors), *Signal und Draht* 57, No. 12, pp. 205 — 211, 1965.

Дополнительная справочная литература

KEMP (J.) "Estimating voltage surges on buried coaxial cables struck by lightning", *Electrical Communication*, Vol. 40, No. 3, pp. 381 — 385, 1965.

POPP (E.) "Lightning protection of line repeaters", *Conference Proceedings, ICC 68 of the IEEE*, pp. 169 — 174.

Рекомендация К.17^{1, 2} (Женева, 1976 г.; исправлена в Малага-Торремолиносе, 1984 г.)

ИСПЫТАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ С ДИСТАНЦИОННЫМ ПИТАНИЕМ С ЦЕЛЮ ПРОВЕРКИ СХЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ВНЕШНИХ ВЛИЯНИЙ

1 Введение

1.1 В пункте 4.1 Рекомендации К.15 указано на целесообразность проведения подобных испытаний в условиях, возможно более близких к реальным. Поскольку некоторые Администрации могут находиться в различных окружающих условиях, иметь разные эксплуатационные задачи или сталкиваться с ограничениями экономического характера, эти испытания могут быть изменены в соответствии с местными условиями.

Если местные условия неизвестны, следует использовать настоящую Рекомендацию.

1.2 Ни одно из предлагаемых в настоящей Рекомендации испытаний не должно приводить к каким-либо существенным изменениям параметров испытываемых промежуточных усилителей.

В частности, это относится к:

- a) величинам тока и напряжения в цепи питания;
- b) частотной характеристике усилителя;
- c) суммарному шуму;
- d) коэффициенту ошибок по битам.

Испытания состоят из:

- прототипных испытаний;
- приемочных испытаний.

Целью этих испытаний является проверка эффективности всех мер, принимаемых для защиты промежуточных усилителей на полупроводниках. К ним относятся устройства защиты, встроенные в промежуточный усилитель или установленные в том же пункте, где располагается промежуточный усилитель.

1.3 Прототипные испытания

Прототипные испытания проводятся с целью проверки эффективности расчета промежуточных усилителей и устройств защиты в тяжелых окружающих условиях.

При определении мер защиты необходимо принимать во внимание наиболее опасные эдс, которые могут появляться на входах и выходах промежуточных усилителей на полупроводниках даже в тех случаях, когда подобные эдс возникают очень редко.

¹ См. также Рекомендации К.15 и К.16.

² Испытания, указанные в Рекомендации К.17, также применимы к оконечному оборудованию, например к усилителям с местным питанием, разделительным фильтрам, оборудованию дистанционного питания, которые подвержены внешним влияниям подобно промежуточным усилителям.

Если воздействию импульсного напряжения подвергается промежуточный усилитель на полупроводниках, на входе (или выходе) которого подключены грозозащитники, то энергия, поступающая в схему усилителя за период времени от нуля до пробоя грозозащитников, зависит также от крутизны фронта импульса.

В ходе прототипных испытаний эта остаточная энергия должна быть такой большой, как в наихудшем случае, встречающемся на практике.

Это условие обеспечивается посредством выбора испытательного импульса нужной крутизны и амплитуды. Однако дополнительно к этому рекомендуется подавать в промежуточный усилитель импульс, имеющий амплитуду меньше, чем напряжение пробоя грозозащитника, чтобы выяснить, каким образом этот промежуточный усилитель реагирует на полный импульсный сигнал.

1.4 Приемочные испытания

Целью этих испытаний является проверка правильности работы устройств защиты в оборудовании после его сборки. Как правило, приемочные испытания проводятся в менее тяжелых условиях по сравнению с прототипными испытаниями с тем, чтобы не подвергать опасным воздействиям некоторые элементы, ибо возникшее в этом случае ухудшение может оказаться необнаруженным в процессе выполнения измерений. Однако потребителям предоставляется право выполнять испытания в более жестких условиях (соответствующих реальным условиям).

Потребитель может решить, проводить ли приемочные испытания каждого устройства или только отдельных образцов.

Примечание. — В некоторых случаях потребители могут счесть необходимым проведение дополнительных испытаний на соответствие установленным или особым требованиям. Такие испытания в настоящей Рекомендации не рассматриваются.

2 Методы испытаний

2.1 Методы испытаний устройств защиты промежуточных усилителей от перенапряжений, которые возникают при ударе молнии (импульсные испытания)

Такие испытания выполняются по схеме, представленной на рис. 1/К.17. Номиналы конденсатора C_2 и сопротивления R_3 указаны в таблице 1/К.17. Конденсатор C_1 должен выдерживать зарядное напряжение, равное пиковому значению напряжения, указанному в таблице 1/К.17.

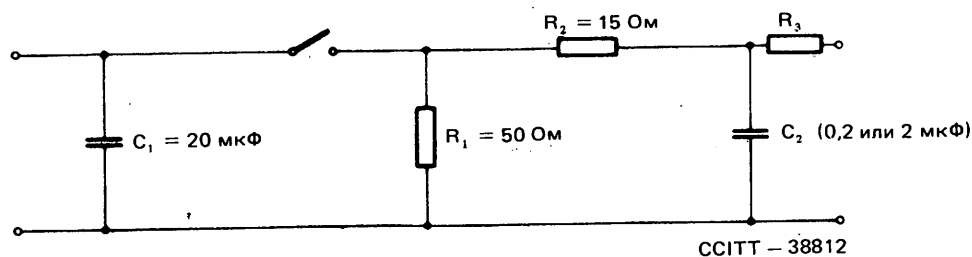


РИСУНОК 1/К.17

Схема генератора импульсных сигналов

Примечание. — Если требуется выполнить испытание усилителей для симметричных или микроаксиальных пар, ток короткого замыкания в испытательном устройстве должен быть ограничен до соответствующих величин сопротивлением R_3 , принимая во внимание более высокие сопротивления проводов линий с симметричными и микроаксиальными парами по сравнению с коаксиальными кабелями.

Формы волны импульсов, приведенные в таблице, соответствуют определениям в [1] (величины напряжения и формы волны импульсов относятся к генератору без нагрузки).

ТАБЛИЦА 1/К.17
Характеристики испытательных импульсов

	Усилители на коаксиальных парах ($\geq 1,2/4,4$ мм)				Усилители на симметричных парах				Усилители на микрокоаксиальных парах (0,7/2,9 мм)			
	Прототипные испытания		Приемочные испытания		Прототипные испытания		Приемочные испытания		Прототипные испытания		Приемочные испытания	
	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3 ^а	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3 ^а	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3 ^а	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3 ^а
Колонка №	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Форма импульса ^б	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700
Нагрузка, Кл	0,1	макс. 0,1	0,06	макс. 0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,1	макс. 0,1	0,06	макс. 0,06
Пиковые напряжения, кВ	5	5	3	3	1,5	1,5	1,5	1,5	5	5	3	3
Ток короткого замыкания, А	333		200		37,5		37,5		125		75	
Пиковый ток в цепи ДП, А		50		50		37,5		37,5		50		50
C_2 , мкФ	0,2	0,2	2	2	0,2	0,2	2	2	0,2	0,2	2	2
R_3 , Ом	с	с	с	с	25	25	25	25	25	25	25	25
Число импульсов	10	10	2	2	10	10	2	2	10	10	2	2

^а При испытании 3 на промежуточных усилителях коаксиальных пар пиковое напряжение может быть уменьшено до такой величины, при которой протекает ток, не превышающий 50 А.

^б Приближенные значения (см. также примечание к пункту 2.1).

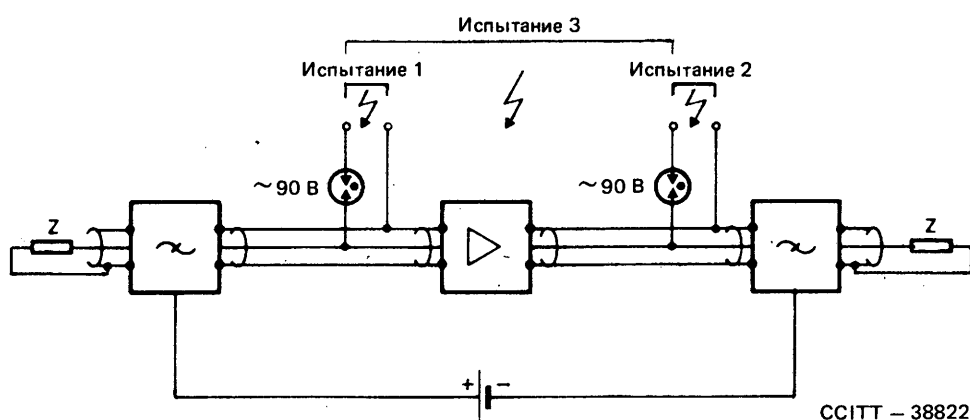
^с Резистор R_3 (0 – 2,5 Ом) может включаться для предотвращения колебательного разряда. Его сопротивление может превышать 2,5 Ом, если C_2 и R_2 отрегулированы таким образом, чтобы сохранить форму импульса на зажимах испытываемой аппаратуры.

Испытания выполняются с помощью последовательно подаваемых импульсов двух полярностей; интервал между импульсами составляет 1 минуту. Количество импульсов, подаваемых в каждую испытательную точку для каждого отдельного случая, указано в нижней строке таблицы 1/К.17. Испытательные импульсы должны прикладываться в следующих точках:

- испытание 1: на входе промежуточного усилителя, выход нагружен его волновым сопротивлением;
- испытание 2: на выходе промежуточного усилителя, вход нагружен его волновым сопротивлением;
- испытание 3: (в продольном направлении) между внутренним проводником на стороне входа и внутренним проводником на стороне выхода при испытании промежуточных усилителей для коаксиальных пар (на зажимах цепи дистанционного питания при испытании промежуточных усилителей для симметричных пар).

При выполнении испытаний 1 и 2 в промежуточный усилитель подается электропитание, при выполнении испытания 3 — усилитель обесточивается.

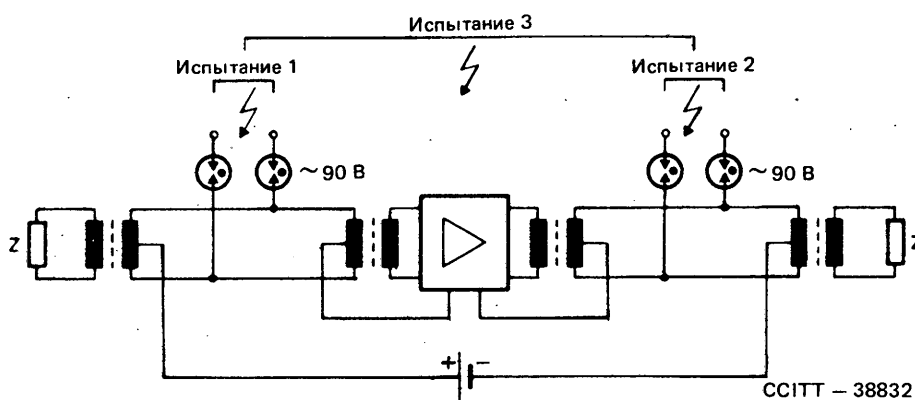
При проведении этих испытаний аппаратуры коаксиальных пар можно использовать схему, показанную на рис. 2/К.17, а симметричных пар — на рис. 3/К.17. Для связи генератора импульсов с промежуточным усилителем можно применять грозоразрядники с напряжением пробоя около 90 В (см. рис. 2/К.17 и 3/К.17, соответственно).



Примечание. — Величина Z выбирается в зависимости от испытываемой системы.

РИСУНОК 2/К.17

Пример схемы испытания импульсным напряжением промежуточных усилителей с дистанционным питанием на коаксиальных парах



Примечание. — Величина Z выбирается в зависимости от испытываемой системы.

РИСУНОК 3/К.17

Пример схемы испытания импульсным напряжением промежуточных усилителей с дистанционным питанием на симметричных парах

2.2 Методы испытаний устройств защиты промежуточных усилителей от магнитного влияния, обусловленного аварией на линии передачи

2.2.1 Испытания при переменном токе на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя

Источник электродвижущей силы (частота источника 16 2/3 Гц, 25 Гц, 50 Гц или 60 Гц) подключается:

- на входе усилителя, при этом выход нагружен на сопротивление, вдвое превышающее волновое;
- на выходе усилителя, при этом вход загружен на сопротивление, вдвое превышающее волновое.

Величина и длительность эдс, а также внутреннее полное сопротивление источника эдс должны соответствовать местным условиям (это испытание выполняется только на усилителях коаксиальных пар).

2.2.2 Испытания при переменном токе на клеммах дистанционного питания промежуточного усилителя

На клеммы дистанционного питания подается переменный ток соответствующей частоты и величины.

Если дополнительное напряжение от подачи дистанционного питания мало, то при испытаниях, указанных в пункте 2.2, в испытываемый промежуточный усилитель дистанционное питание не подается. Однако, если это напряжение велико, при проведении испытаний при переменном токе необходимо в промежуточный усилитель подавать наибольшую величину напряжения дистанционного питания.

2.3 Методы испытаний устройств защиты промежуточных усилителей от помех, обусловленных наличием продольных эдс переменного тока, длительно индуцируемых линиями высокого напряжения

Чтобы промежуточный усилитель удовлетворительно работал при наличии посторонних напряжений, индуцируемых при установившемся режиме (см. Рекомендацию К.15, пункт 3.2), характеристики паразитной модуляции этого усилителя (см. Рекомендацию К.15, пункт 4.3) должны удовлетворять требованиям для участков магистрали, разработанным Исследовательской комиссией XV. Усилитель должен работать таким образом, чтобы качество передачи не подвергалось заметным изменениям (см., например, Рекомендацию в [2]) при подключении его к типовой цепи дистанционного питания при наличии:

- а) переменного напряжения соответствующей частоты (50 Гц, 16 2/3 Гц и т. д.), подаваемого на:
 - i) входные зажимы или
 - ii) выходные зажимы.

Источник переменного напряжения в точках подключения к испытательной схеме должен иметь такое внутреннее сопротивление, чтобы исключалось значительное мешающее влияние на частотно-независимые характеристики передачи этой схемы;

- б) переменного тока соответствующей частоты, наложенного на ток дистанционного питания усилителя.

Испытание, указанное в подпункте а), должно выполняться при напряжении 60 В или 150 В в соответствии с предельными значениями длительной индуцируемой эдс (см. [3]). Испытание, указанное в подпункте б), должно выполняться при величине тока, соответствующего индуцируемой эдс 60 В или 150 В, вычисленной в соответствии с Рекомендацией К.16 для наиболее неблагоприятных условий.

3 Испытания, которые должны выполняться в различных случаях

3.1 Условия испытания промежуточных усилителей на коаксиальных парах

Ниже рассматриваются испытания, которые должны быть выполнены в том случае, когда внешний проводник соединен с металлической оболочкой кабеля. Сюда же можно отнести случай, когда внешний проводник (как правило, имеющий „плавающий потенциал”) случайно соприкасается с металлической оболочкой.

3.1.1 Прототипные испытания

3.1.1.1 Испытания, выполняемые на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя

3.1.1.1.1 Испытания импульсным током

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 1 таблицы 1/К.17.

Если защита обеспечивается устройством, срабатывающим при пороговых значениях напряжений на входе и выходе усилителя (например, грозозарядниками), и если оно не срабатывает в условиях испытания, то зарядное напряжение конденсатора C_1 следует постепенно увеличивать (однако оно не должно превышать 7 кВ¹) до тех пор, пока устройство защиты не срабатывает.

¹ При испытании промежуточных усилителей на микрокоаксиальных парах максимальное пиковое напряжение не должно превышать 5 кВ.

Если разрядники не срабатывают при напряжении 7 кВ¹ или если в усилителях, подвергаемых прототипным испытаниям, отсутствуют грозоразрядники, то предложенная выше форма волны может оказаться неподходящей. Форма импульса, имитирующего пробой кабеля, может создаваться испытательным генератором, речь о котором шла выше, если параллельно цепи включить искровой промежуток, рассчитанный на соответствующее напряжение пробоя. Если же грозоразрядники предусмотрены и если они срабатывают при вышеуказанных условиях испытания, то зарядное напряжение конденсатора C_1 должно постепенно уменьшаться, пока разрядники не перестанут срабатывать.

3.1.1.1.2 Испытания при переменном токе²

Напряжение, среднеквадратичное значение которого на сопротивлении 150 Ом равно 1200 В, в течение 0,5 с подается на:

- вход усилителя, выход которого нагружен сопротивлением 150 Ом;
- выход усилителя, вход которого нагружен сопротивлением 150 Ом.

Полное сопротивление источника напряжения должно быть таким, чтобы любой протекающий ток составлял 8 — 10 А.

Электродвижущая сила источника напряжения должна быть такой, чтобы при подключении сопротивления нагрузки 150 Ом на зажимах этого сопротивления создавалось напряжение со среднеквадратичным значением, по крайней мере, 1200 В. Пример испытательной схемы для частоты 50 Гц приведен на рис. 4/К.17.

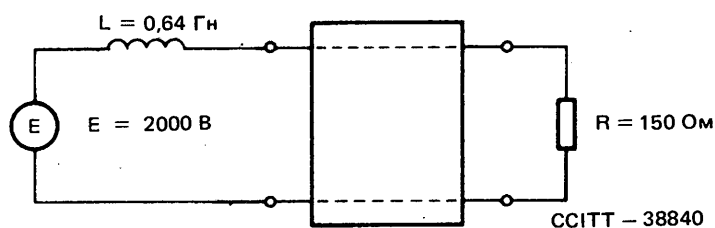


РИСУНОК 4/К.17

Пример схемы испытаний при переменном токе частотой 50 Гц

3.1.1.1.3 Испытания при переменном напряжении, индуктированном в установившемся режиме.

Эти испытания должны выполняться в соответствии с пунктом 2.3.

3.1.1.2 Испытания на зажимах дистанционного питания промежуточного усилителя

3.1.1.2.1 Испытания импульсным током

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 2 таблицы 1/К.17.

В ходе испытаний конденсатор C_1 может заряжаться либо до напряжения 5 кВ, либо до меньшего напряжения при условии, что максимальный ток в цепи дистанционного питания достигает 50 А.

3.1.1.1.2 Испытания при переменном токе²

Эти испытания заключаются в пропускании по цепи дистанционного питания переменного тока, по величине и частоте сравнимого с переменными токами, которые, по всей вероятности, встречаются на практике. Среднеквадратичное значение тока, пропускаемого в течение 0,5 с, не должно превышать 10 А.

3.1.1.2.3 Испытания при переменном напряжении, индуктированном в установившемся режиме

Эти испытания должны выполняться в соответствии с пунктом 2.3.

¹ При испытании промежуточных усилителей на микроаксиальных парах максимальное пиковое напряжение не должно превышать 5 кВ.

² В результате последующих изучений и испытаний эта часть настоящей Рекомендации может быть изменена. Если Администрация считает, что предлагаемые значения слишком высоки для местных условий, то могут быть применены более низкие значения.

3.1.2 Приемочные испытания

3.1.2.1 Испытания, выполняемые на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 3 таблицы 1/К.17.

3.1.2.2 Испытания на зажимах дистанционного питания промежуточного усилителя

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 4 таблицы 1/К.17. В ходе испытания конденсатор C_1 может заряжаться либо до напряжения 3 кВ, либо до меньшего напряжения при условии, что максимальный ток в цепи дистанционного питания достигает 50 А.

3.2 Условия испытания промежуточных усилителей на симметричных парах

3.2.1 Прототипные испытания

3.2.1.1 Испытания, выполняемые на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя

3.2.1.1.1 Испытания импульсным током

Эти испытания должны выполняться с использованием импульса, характеристики которого перечислены в колонке 5 таблицы 1/К.17.

Если электрическая прочность изоляции симметричных пар превышает электрическую прочность пар с бумажной изоляцией, то целесообразно применять более высокие пиковые напряжения, чем указано в таблице 1/К.17.

Если предусмотрены грозоразрядники и если они срабатывают при вышеуказанных условиях испытания, то зарядное напряжение конденсатора C_1 должно постепенно уменьшаться, пока разрядники не перестанут срабатывать.

Примечание. — Если грозоразрядники включаются между входными и выходными зажимами усилителя и его корпусом, то один из зажимов перед испытаниями 1 и 2 (таблица 1/К.17) должен быть соединен с корпусом для имитации пробоя грозоразрядника.

3.2.1.1.2 Испытания при переменном токе

Эти испытания не определены.

3.2.1.2 Испытания на зажимах дистанционного питания промежуточного усилителя

3.2.1.2.1 Испытания импульсным током

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 6 таблицы 1/К.17.

3.2.1.2.2 Испытания при переменном токе

Эти испытания заключаются в пропускании по цепи дистанционного питания переменного тока, по величине и частоте сравнимого с переменными токами, которые, по всей вероятности, встречаются на практике. Этот ток должен применяться в течение 0,5 с.

Эти испытания не проводятся, если промежуточные усилители в реальных условиях не подвергаются влиянию продольных эдс, индуцированных линиями электропередачи, которые создают продольные токи.

3.2.1.2.3 Испытания при переменном напряжении, индуцированном в установившемся режиме

Эти испытания должны выполняться в соответствии с пунктом 2.3.

3.2.2 Приемочные испытания

3.2.2.1 Испытания, выполняемые на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 7 таблицы 1/К.17.

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 8 таблицы 1/К.17.

Библиография

- [1] Публикация МЭК № 60-2/1973.
- [2] Рекомендация МККТТ „Паразитная модуляция и фазовая нестабильность”, Рек. G.229, пункт 1.3.
- [3] Руководство МККТТ „Директивы по защите электросвязи от вредных влияний линий электропередачи”, глава IV, разделы 6, 7 и 35, МСЭ, Женева, 1963, 1965, 1974, 1978 годы.

Рекомендация К.18 (Женева, 1980 г.; исправлена в Малага-Торремолиносе, 1984 г.)

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ, ИНДУКТИРУЕМЫХ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫМИ СТАНЦИЯМИ, И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПОМЕХ

1 Введение

Хотя в цепях подземных кабелей редко наблюдаются индуцированные помехи от радиоволн, имеется много примеров наличия таких помех в цепях воздушных линий, подвесных кабелей или кабелей, проложенных внутри зданий.

Помехи в цепях тональной частоты возникают вследствие того, что влияющая радиоволна детектируется и демодулируется нелинейными элементами в телефонном аппарате или окисными слоями металла в местах срачивания жил. Эти помехи проявляются, главным образом, в виде внятного шума и могут появляться на расстоянии до 5 км от радиостанции, мощность излучения которой превышает несколько десятков киловатт.

В цепях высокочастотной связи или в цепях видеосигнала индуцированная радиоволна ухудшает характеристики передачи, когда ее частота попадает в рабочую полосу частот системы. Помеха, как правило, представляет собой одночастотный тон в телефонном канале и является невнятной. Она ухудшает в цепи отношение сигнал/шум. Такая помеха может возникать в широкой зоне вокруг радиостанции. Появление помехи в цепях передачи видеосигнала было отмечено только в нескольких случаях, но ожидается, что в будущем с развитием сети видеопередачи могут возникнуть серьезные проблемы.

В исключительных случаях могут возникать помехи, при которых персонал, занятый обслуживанием линейных сооружений, может получить ожоги от токов радиочастоты. Такого рода проблемы отмечались лишь в непосредственной близости от антенны радиостанции.

2 Анализ помех

Для проведения теоретического анализа напряжения, индуцируемого радиоволной, принимаются следующие условия:

- удельное сопротивление земли однородно и постоянно;
- кабель или провод подвешиваются на опорах по прямой линии на постоянной высоте над поверхностью земли;
- металлический экран кабеля заземляется на обоих концах;
- электрическое поле радиоволны имеет постоянную напряженность, постоянный угол падения и одинаковый сдвиг фазы вдоль кабеля;
- первоначально радиоволна имеет вертикальную поляризацию. Однако по мере ее распространения по поверхности земли возникает горизонтальная составляющая за счет удельной проводимости земли.

Постоянные и переменные величины, используемые в теоретическом анализе, приведены в приложении А.

2.1 Для линий связи без металлического экрана горизонтальная составляющая электрического поля радиоволны непосредственно действует как эдс в проводах линии электросвязи. Вследствие этого в оконечных устройствах индуцируются помехи за счет асимметрии полных сопротивлений относительно земли. Индуцированные продольные напряжения на концах электросвязи без металлического экрана определяются уравнениями (В-1) и (В-2).

2.2 Для кабелей электросвязи с металлическим экраном горизонтальная составляющая электрического поля радиоволны действует как эдс, создавая индуцируемый ток в цепи, состоящей из металлического экрана кабеля и земли. Вследствие наличия тока в экране в жилах индуцируется эдс через сопротивление связи между жилами и металлическим экраном. Эта эдс может обусловить мешающее напряжение в двухпроводных цепях кабеля в зависимости от степени асимметрии цепей по отношению к металлическому экрану (или земле).

Индуцируемые продольные напряжения на концах кабеля электросвязи с металлическим экраном определяются уравнениями (В-3) и (В-4). В [1] показано, что величины, полученные с помощью этих уравнений, согласуются с измеренными значениями.

2.3 Уравнения, приведенные в приложении В, очень сложны и включают большое число параметров. Поэтому полезно оценить приближенное значение максимального индуцируемого продольного напряжения с помощью следующего упрощенного уравнения:

$$\begin{aligned} V_2(0) \text{ дБ} [\approx V_2(l)] &= 20 \log_{10} V_2(0) \\ &= 20 \log_{10} \frac{PE_r(\cos \theta) Z_K}{4Z_{01}} - 30 \log_{10} f - 20 \log_{10} \alpha_{20} + 300, \end{aligned} \quad (2-1)$$

где

$$l \geq \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8, \quad (2-2)$$

$$20 \text{ Ом} < |Z_{1R}|, |Z_{1L}| \leq |Z_{01}|, \quad (2-3)$$

$$\gamma_2 = \alpha_2 + j\beta_2,$$

$$\alpha_2 = \alpha_{20} \sqrt{f} \times 10^{-3} \text{ (дБ/км)},$$

α_{20} — коэффициент затухания на частоте 1 МГц, дБ/км,

f — частота радиоволны, Гц.

Прочие постоянные и переменные величины приведены в приложении А.

Уравнение (2-1), выражающее максимальное индуцируемое продольное напряжение в дБ (0 дБ = 0,775 В), получено, исходя из следующего.

Индуцируемое продольное напряжение, рассчитанное с помощью уравнений, приведенных в приложении В, достигает начального пикового значения при длине кабеля

$$l = \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8,$$

а затем ряда пиковых значений. Его максимальная величина возникает при одном из первых пиковых значений вдоль длины кабеля

$$l \geq \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8.$$

Индуцируемое продольное напряжение достигает своего максимума при одном из первых пиковых значений вследствие затухания индуцированной радиоволны вдоль кабеля (рис. 3/К.18).

В приложении С подробно описаны погрешности, связанные с применением уравнения (2-1) вместо полных уравнений, приведенных в приложении В.

2.4 При очень сложной конфигурации линии ее необходимо разбить на несколько участков и определить индуцируемое продольное напряжение для каждого участка с помощью уравнений (В-1) — (В-4). Затем, с учетом параметров передачи и граничных условий рассматриваемой линии, вычисленные величины индуцированных напряжений на каждом участке суммируются для получения общего индуцированного напряжения.

В тех случаях, когда упрощенное уравнение (2-1) применяется к сложной линии, для расчета максимального индуцированного продольного напряжения может быть использована модель прямой линии. Расчеты следует начинать с точки, ближайшей к радиостанции, и при этом должна быть использована наименьшая величина угла падения радиоволны.

2.5 В тех случаях, когда проведены полевые измерения напряженности электрического поля радиоволны, измеренное значение может быть использовано в качестве E_v в уравнении (2-1).

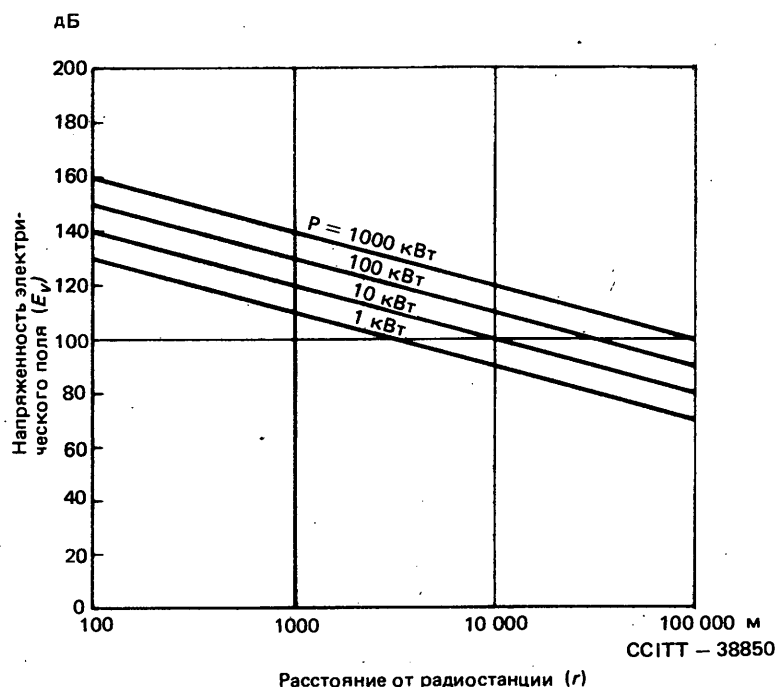
При отсутствии измерений напряженность электрического поля радиоволны E_v может быть вычислена с помощью уравнения (2-4) с учетом расстояния от радиостанции и мощности ее передатчика (см. [2]).

$$E_v = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{1,5 P Z_0}{2\pi}}, \quad (2-4)$$

где

P — мощность передатчика радиостанции, Вт,
 r — расстояние от радиостанции, м,
 Z_0 — волновое сопротивление свободного пространства (≈ 377 Ом).

На рис. 1/К.18 показаны значения E_v , полученные из уравнения (2-4) при различных значениях P .



Примечание. — E_v выражена в дБ (0 дБ = 1 мкВ/м).

РИСУНОК 1/К.18

Напряженность электрического поля радиоволны
 в зависимости от расстояния до радиостанции

2.6 Угол падения радиоволны на линию электросвязи может изменяться в зависимости от обстоятельств.

При прокладке линии электросвязи на открытой местности может применяться либо измеренное значение угла падения, либо его вычисленное значение, исходя из относительного расположения радиостанции и линии электросвязи.

При прокладке линии электросвязи вблизи сооружений, препятствующих распространению радиоволн, угол падения может быть принят равным нулю; при этом предполагаются наиболее неблагоприятные условия.

2.7 Индуцируемое продольное напряжение на концах кабеля электросвязи, показанного на рис. 2/К.18, может быть вычислено следующим упрощенным методом.

Подставляя значения параметров P , f , α_{20} , β_2 и θ , указанные на рис. 2/К.18, и вычисленные значения для E_p и Z_K в уравнения (2-1) и (2-2), получаем следующие результаты:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -35,0 \text{ дБ},$$

$$l \geq 210 \text{ м.}$$

Кроме того, при $\theta = 0^\circ$ — как самом неблагоприятном значении — получаем:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -32,0 \text{ дБ},$$

$$l \geq 210 \text{ м.}$$

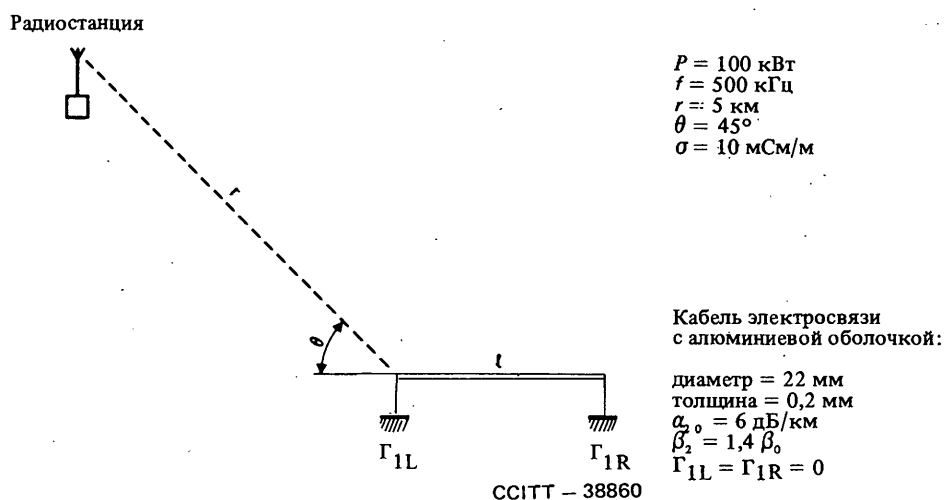


РИСУНОК 2/К.18

Относительное расположение радиостанции
и линии электросвязи

На рис. 3/К.18 сравниваются результаты, полученные с помощью упрощенных расчетов, и результаты, полученные более точными методами расчетов, которые описаны в приложении В, где приведены значения V_2 , связанные с длиной кабеля. По-видимому, упрощенный метод вполне приемлем для оценки самых сильных помех, какие только могут встретиться.

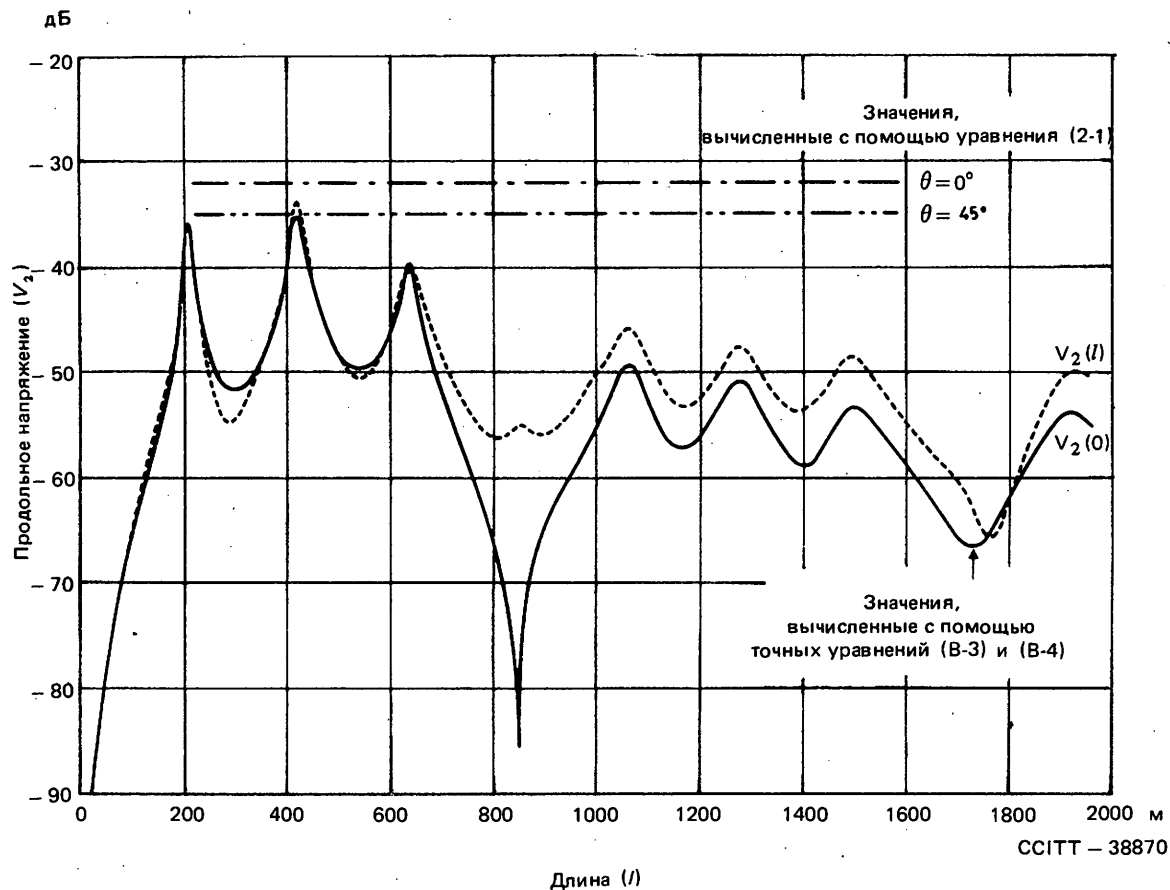


РИСУНОК 3/К.18

Вычисленное индуктируемое продольное напряжение на концах кабеля, показанного на рис. 2/К.18

2.8 Поперечные напряжения (напряжения в двухпроводной цепи), вызывающие шумы, возникают вследствие недостаточной симметрии цепи относительно металлического экрана (или земли). Если коэффициент λ устанавливает соотношение между продольным и поперечным напряжением, то уровни помех можно получить по вычисленным или измеренным значениям индуктированного продольного напряжения:

$$V = \lambda + V_2,$$

где

$V_2 [V_2(0) \text{ или } V_2(l)]$ — продольное напряжение на концах цепи при холостом ходе,

$V [V(0) \text{ или } V(l)]$ — поперечное напряжение на концах цепи, нагруженной с обеих сторон на волновые сопротивления.

Например, для случая, показанного на рис. 2/К.18, и $\lambda = -40$ дБ получается следующий уровень помехи V :

(в этом случае $V_2 = -35$ дБ [$0 \text{ дБ} = 0,775 \text{ В}$])

$$V = -35 - 40 \text{ дБ} = -75 \text{ дБ}.$$

3 Уменьшение помех

Для уменьшения помех можно принять следующие меры.

3.1 Помехи в цепях тональной частоты могут быть снижены посредством включения конденсатора $0,01 - 0,05$ мкФ между жилами и заземлением на входной клемме или в телефонном аппарате для шунтирования индуктируемых токов радиоволны.

3.2 Помехи в высокочастотных системах передачи и в системах передачи видеосигнала могут быть снижены следующим образом.

3.2.1 В кабель необходимо ввести соответствующий экран; например, алюминиевый экран толщиной 0,2 мм, наложенный вокруг кабельного сердечника, обеспечивает снижение помехи приблизительно на 70 дБ. Алюминиевый экран должен быть заземлен на обоих концах с сопротивлением заземления, меньшим чем $|Z_{01}|$ Ом, при удельной проводимости земли менее 0,1 См/м. Если толщину экрана увеличить с 0,2 до 1,0 мм, то снижение помехи увеличится еще на 50 — 60 дБ.

3.2.2 Жилы должны быть полностью экранированы металлическим экраном в местах соединения кабелей и на концах кабеля.

Примечание. — Если металлический экран снимается на длине около 30 см, индуктируемые напряжения возрастают почти на 30 дБ, даже если этот экран электрически соединен. Если снять всего 5 см металлического экрана на конце кабеля, то и тогда индуктируемые напряжения увеличатся примерно на 10 дБ.

3.2.3 На участках, подверженных радиопомехам, следует прокладывать подземный кабель или использовать другие маршруты для прокладки кабеля.

3.2.4 Чтобы обеспечить приемлемое отношение сигнал/шум для системы передачи, необходимо уменьшать расстояния между промежуточными усилителями.

3.2.5 Необходимо уменьшать асимметрию полной проводимости оконечной аппаратуры и промежуточных усилителей относительно земли на частоте радиоволны.

3.2.6 Необходимо использовать установку уровня предискажения системы передачи.

3.3 Для снижения индуктируемых напряжений, опасных для обслуживающего персонала, между жилами и землей с определенными промежутками в пределах участка влияния могут включаться конденсаторы для шунтирования индуктируемого тока.

В этом случае при выборе подходящего конденсатора необходимо обратить внимание на сочетание минимального затухания на частотах передачи с эффективным заземлением на радиочастоте. Необходимо также предусмотреть меры по предотвращению повреждения конденсатора от перенапряжений, возникающих в жилах.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации К.18)

Постоянные и переменные величины, используемые в Рекомендации К.18

А.1 Отношение горизонтальной составляющей к вертикальной составляющей P электрического поля радиоволны, распространяющейся по поверхности земли, имеет вид:

$$P = \frac{E_h}{E_v} = \left| \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}}} \right| \approx \sqrt{\frac{\omega \epsilon_0}{\sigma}}, \quad (\text{А-1})$$

где

E_h — горизонтальная составляющая напряженности электрического поля радиоволны, В/м;

E_v — вертикальная составляющая напряженности электрического поля радиоволны, В/м;

ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость земли;

ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость свободного пространства, Ф/м;

Z_0 — волновое сопротивление свободного пространства, Ом;

β_0 — фазовая постоянная свободного пространства, рад/м;

σ — удельная проводимость земли, См/м;

ω — угловая частота радиоволны, рад/с;

f — частота радиоволны, Гц.

А.2 Полное сопротивление связи металлического экрана оболочки кабеля Z_K определяется из выражения:

$$Z_K = \frac{Kl}{\sinh Kl} \cdot R_{dc} \quad \text{Ом/м,} \quad (\text{А-2})$$

где

R_{dc} — сопротивление постоянному току на единицу длины металлического экрана, Ом/м,

$$K = \sqrt{j\omega\mu g},$$

μ — абсолютная магнитная проницаемость металлического экрана, Гн/м,

g — удельная проводимость металлического экрана, См/м,

t — толщина металлического экрана, м.

А.3 Приводимые ниже обозначения относятся к рис. А-1/К.18:

θ — угол падения радиоволны на линию связи, рад,

l — длина кабеля, м,

x — расстояние вдоль кабеля от ближнего к радиостанции конца кабеля, м,

Z_{01} — радиоволновое сопротивление цепи с возвратом тока через землю, Ом,

γ_1 — коэффициент распространения цепи с возвратом тока через землю,

Z_{02} — волновое сопротивление продольной цепи, Ом,

γ_2 — коэффициент распространения продольной цепи,

Z_{1L}, Z_{1R} — нагрузочное сопротивление цепи с возвратом тока через землю, Ом,

Z_{2L}, Z_{2R} — нагрузочное сопротивление продольной цепи, Ом,

$$\Gamma_{1L} = \frac{Z_{01} - Z_{1L}}{Z_{01} + Z_{1L}} \quad \text{— коэффициент отражения по току цепи с возвратом тока через землю в точке } x = 0,$$

$$\Gamma_{1R} = \frac{Z_{01} - Z_{1R}}{Z_{01} + Z_{1R}} \quad \text{— коэффициент отражения по току цепи с возвратом тока через землю в точке } x = l,$$

$$\Gamma_{2L} = \frac{Z_{02} - Z_{2L}}{Z_{02} + Z_{2L}} \quad \text{— коэффициент отражения по току продольной цепи в точке } x = 0,$$

$$\Gamma_{2R} = \frac{Z_{02} - Z_{2R}}{Z_{02} + Z_{2R}} \quad \text{— коэффициент отражения по току продольной цепи в точке } x = l,$$

$V_{1m}(x)$ (для $m=0$) — напряжение в цепи с возвратом тока через землю при согласованной нагрузке на обоих концах,

$V_{1m}(x)$ (для $m=L$) — напряжение в цепи с возвратом тока через землю при несогласованной нагрузке в точке $x=0$,

$V_{1m}(x)$ (для $m=R$) — напряжение в цепи с возвратом тока через землю при несогласованной нагрузке в точке $x=l$,

$V_{2m}(x)$ (для $m=0$) — напряжение в продольной цепи при согласованной нагрузке на обоих концах,

$V_{2m}(x)$ (для $m=L$) — напряжение в продольной цепи при несогласованной нагрузке в точке $x=0$,

$V_{2m}(x)$ (для $m=R$) — напряжение в продольной цепи при несогласованной нагрузке в точке $x=l$.

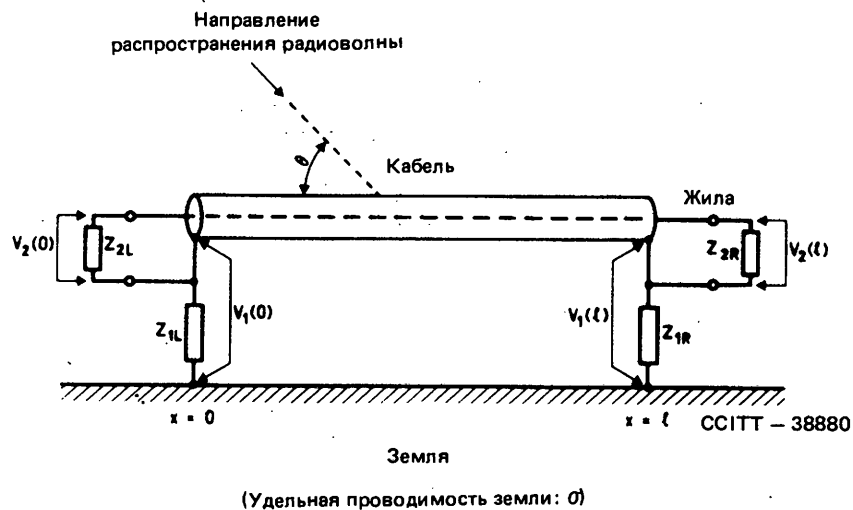


РИСУНОК А-1/К.18

Оконечная нагрузка цепи с возвратом тока через землю (Z_{1L}, Z_{1R}) и продольной цепи (Z_{2L}, Z_{2R})

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(к Рекомендации К.18)

Расчет индуцируемых продольных напряжений

В.1 Линии электросвязи без металлического экрана

Индуктируемые продольные напряжения на концах линии электросвязи без металлического экрана определяются уравнениями (В-1) и (В-2).

Индуктируемое продольное напряжение на ближайшем к радиостанции конце:

$$V_1(0) = V_{10}(0) + V_{1L}(0) + V_{1R}(0)$$

$$V_{10}(0) = - \frac{PE_V \cos \theta}{2} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta}$$

$$V_{1L}(0) = \frac{-\Gamma_{1L} [1 - \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0)$$

$$V_{1R}(0) = \frac{-\Gamma_{1R} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1L}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l)$$

(В-1)

Индуктируемое продольное напряжение на дальнем от радиостанции конце:

$$V_1(l) = V_{10}(l) + V_{1L}(l) + V_{1R}(l)$$

$$V_{10}(l) = \frac{PE_V \cos \theta}{2} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta}$$

$$V_{1L}(l) = \frac{-\Gamma_{1L} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1R}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0) \quad (B-2)$$

$$V_{1R}(l) = \frac{-\Gamma_{1R} [1 - \Gamma_{1L} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l),$$

где постоянные и переменные величины соответствуют принятым в приложении А.

B.2 Кабели электросвязи с металлическим экраном

Индуктируемые продольные напряжения на концах кабеля электросвязи с металлическим экраном определяются уравнениями (B-3) и (B-4).

Индуктируемое продольное напряжение на ближайшем к радиостанции конце:

$$V_2(0) = V_{20}(0) + V_{2L}(0) + V_{2R}(0)$$

$$V_{20}(0) = -\frac{PE_V (\cos \theta) Z_K}{4 Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \right. \\ \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_2 + j\beta_0 \cos \theta} + \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \cdot \right. \\ \cdot \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \cdot \right. \\ \cdot \left. \left. \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1) l}}{\gamma_2 + \gamma_1} + \left\{ -\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\ \left. + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \right. \\ \left. \left. + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 (\cos \theta) l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1) l}}{\gamma_2 - \gamma_1} \left. \right] \quad (B-3)$$

$$V_{2L}(0) = \frac{-\Gamma_{2L} [1 - \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0)$$

$$V_{2R}(0) = \frac{-\Gamma_{2R} e^{-\gamma_2 l} [1 - \Gamma_{2L}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l)$$

Индуктируемое продольное напряжение на дальнем от радиостанции конце:

$$V_2(l) = V_{20}(l) + V_{2L}(l) + V_{2R}(l)$$

$$\begin{aligned}
 V_{20}(l) = & \frac{PE_V \cos \theta Z_K}{4 Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \right. \\
 & \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} + \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\
 & + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \right. \\
 & \cdot e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \left. \right) \left. \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1)l}}{\gamma_2 - \gamma_1} e^{-\gamma_1 l} + \\
 & + \left\{ -\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \cdot \right. \right. \\
 & \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \left. \right) \left. \right\} \\
 & \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1)l}}{\gamma_2 + \gamma_1} e^{\gamma_1 l} \left. \right] \\
 V_{2L}(l) = & \frac{-\Gamma_{2L} e^{-\gamma_2 l} [1 - \Gamma_{2R}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0) \\
 V_{2R}(l) = & \frac{-\Gamma_{2R} [1 - \Gamma_{2L} e^{-2\gamma_2 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l) ,
 \end{aligned} \tag{B-4}$$

где постоянные и переменные величины соответствуют принятым в приложении А.

ПРИЛОЖЕНИЕ С

(к Рекомендации К.18)

Погрешности, связанные с применением упрощенного уравнения (2-1)

Упрощенное уравнение (2-1) может быть использовано, когда $3 \text{ дБ/км} \leq a_{20} \leq 30 \text{ дБ/км}$; $1,2 \beta_0 \leq \beta_2 \leq 3 \beta_0$; $500 \text{ кГц} \leq f \leq 1,6 \text{ МГц}$; $10 \text{ мм} \leq d \leq 50 \text{ мм}$; $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$; $0,1 \text{ мСм/м} \leq \sigma \leq 500 \text{ мСм/м}$ и $-1 \leq \Gamma \leq 1$. Эти условия более применимы к подвесным кабелям.

Погрешность, возникающая при использовании уравнения (2-1) вместо более точного метода, описанного в приложении В, зависит от значений σ и Γ и не зависит от других параметров. Пример этой зависимости показан на рис. С-1/К.18. В таблице С-1/К.18 приведены погрешности, соответствующие области значений (σ, Γ) на рис. С-2/К.18. Здесь рассматриваются только значения $\Gamma_1 \geq 0$, поскольку условие $|Z_1| \leq Z_{01}$ может быть легко реализовано. Область (I) на рис. С-2/К.18 является обычной, тогда как области (II) и (IV) встречаются редко, а область (III) реализовать трудно. Для области значений с большой погрешностью (например, области II, III, IV) или в случае, когда длина кабеля слишком мала, чтобы удовлетворять условию уравнения (2-2), целесообразно выполнять расчет с помощью точного метода, описанного в приложении В.

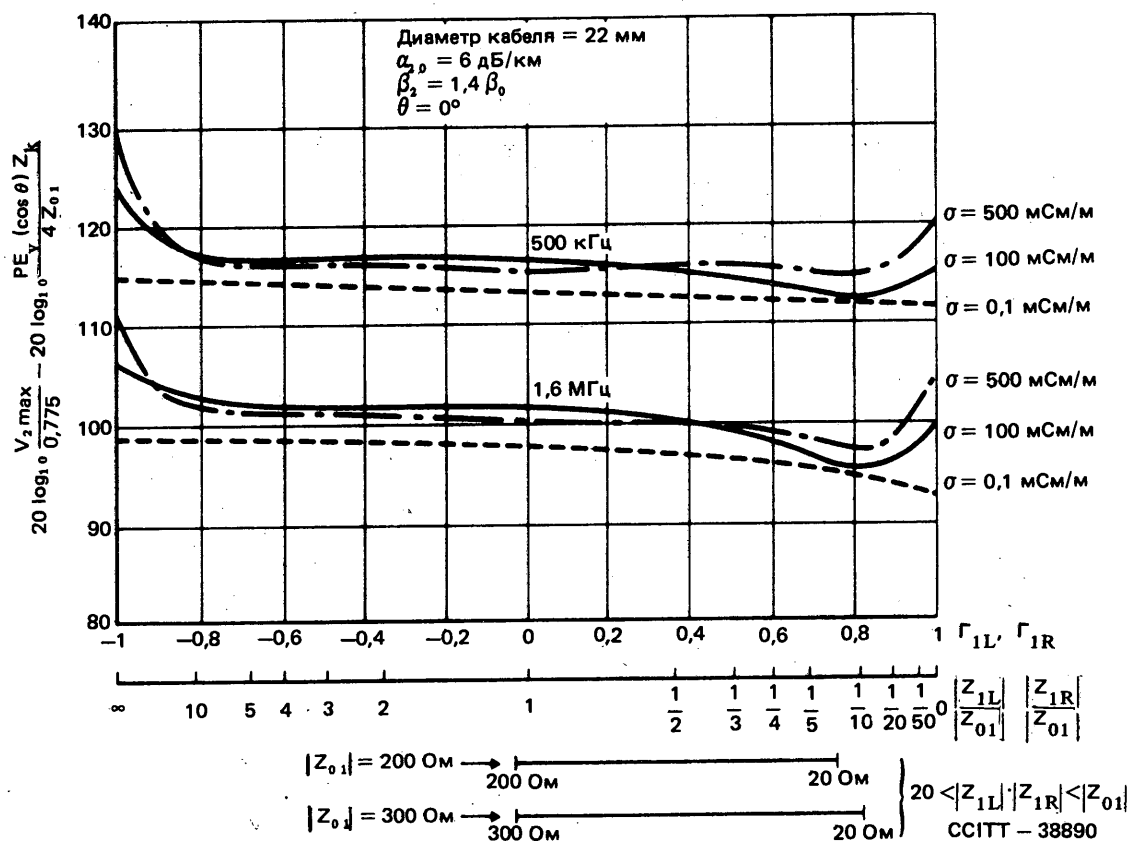


РИСУНОК С-1/К.18

Пример зависимости между индуцируемым продольным напряжением и (σ , Γ)

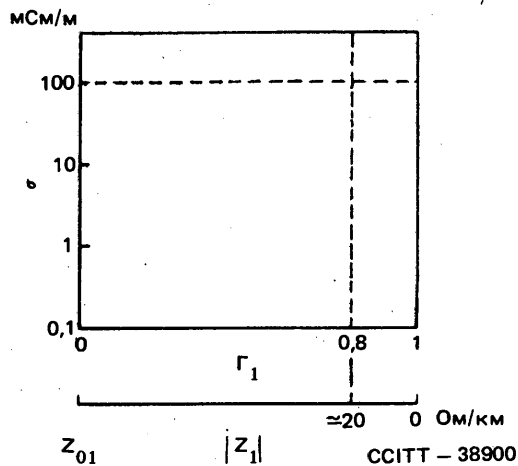


РИСУНОК С-2/К.18

Области значений (σ , Γ)

ТАБЛИЦА С-1/К.18

Погрешность при использовании уравнения (2-1) вместо точного метода расчета, описанного в приложении В

Область	Погрешность
(I) (обычный случай)	± 5 дБ
(II) (редкий случай)	± 8 дБ
(III) (редкий случай)	$-5 - +15$ дБ
(IV) (редкий случай)	$-5 - +23$ дБ

ПРИЛОЖЕНИЕ D

(к Рекомендации К.18)

Влияние окружающих условий вблизи линии электросвязи на измеряемое электрическое поле радиоволны

(Отчет NTT)

Окружающие условия вблизи линии электросвязи не оказывают влияния на напряженность электрического поля радиоволны, которая может быть принята равной теоретически рассчитанному значению (см. рис. D-1/К.18).

С другой стороны, на угол падения радиоволны на линию электросвязи может влиять ряд факторов, в связи с чем трудно определить его точное значение. Однако на открытой местности измеренный угол падения между направлением распространения радиоволны и линией электросвязи хорошо согласуется со значением, вычисленным на основании известного расположения радиостанции и линии электросвязи относительно друг друга (рис. D-2/К.18).

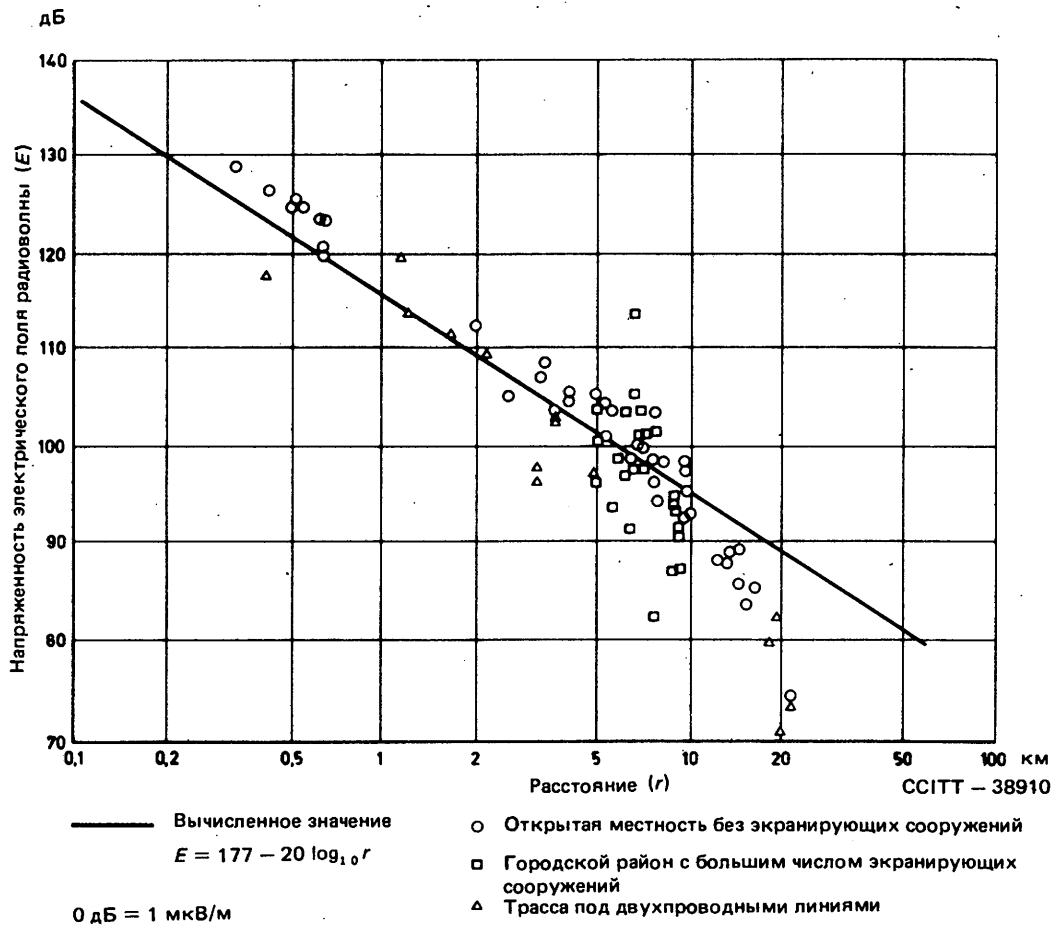


РИСУНОК D-1/К.18

Напряженность электрического поля радиоволны
в зависимости от расстояния до радиостанции

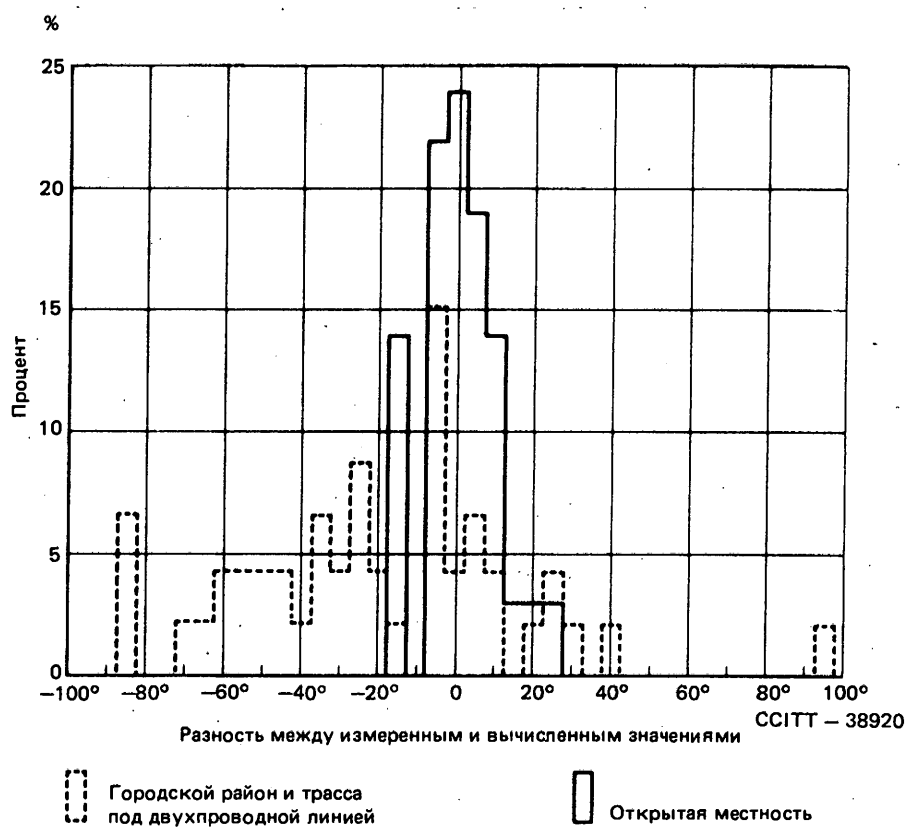


РИСУНОК D-2/К.18

Гистограмма разности между измеренным и вычисленным значениями угла падения радиоволны на линию электропередачи

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(к Рекомендации К.18)

**Примеры коэффициента λ , устанавливающего соотношение
между индуцируемыми продольными и поперечными напряжениями**

(Отчет NTT)

Продольные и поперечные напряжения (шумы), индуцированные радиоволной на подвесных кабелях, были измерены в полевых условиях.

На рис. Е-1/К.18 показаны примеры λ , полученные по результатам измерений продольного напряжения V и поперечного напряжения V_2 ($\lambda = V - V_2$ дБ).

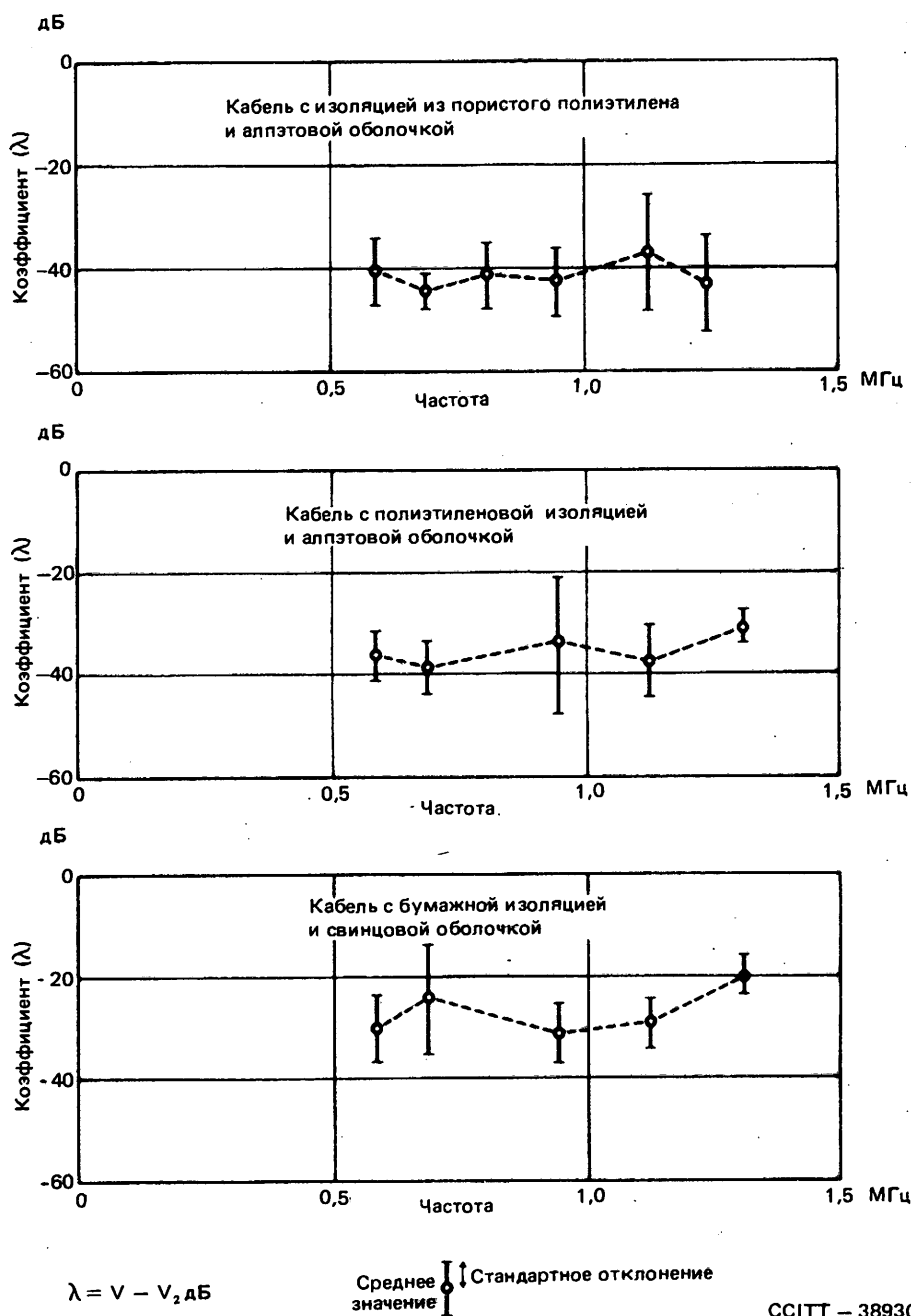


РИСУНОК Е-1/К.18

Примеры коэффициента λ

ПРИЛОЖЕНИЕ F

(к Рекомендации К.18)

Примеры радиопомех и мер защиты в разных странах

(Составлено на основе отчета специального докладчика
Исследовательской комиссии V в 1978 году)

Примеры индуктированных радиопомех в системах электросвязи и некоторые меры защиты сведены
в таблице F-1/К.18.

Установлено, что радиопомехи редко наводятся в подземных цепях и кабелях.

ТАБЛИЦА F-1/К.18

Индуктированные радиопомехи и меры защиты

Тип цепи	Характеристики радиостанции		Напряженность электрического поля в зоне влияния	Вид линии электросвязи, подверженной влиянию	Помехи	Меры защиты
	частота	мощность				
Цепь тональ- ной частоты	НЧ СЧ (главным образом радиове- щание)	Несколько десятков кВт	До 5 км от ра- диостанции (несколько В/м)	— Подвесной кабель (с пластмассовой оболочкой, с металлическим экраном и без экрана, со свинцовой оболочкой) — Воздушная линия	Демодулирован- ный внятный шум от программы радиовещания, иногда невнятный шум	— Включение конден- саторов (на вход- ных клеммах теле- фонного аппарата) — Замена на кабель с металлическим экраном — Экранирование ли- нейного ввода — Включение в цепь запирающей ка- тушки
Цепь высо- кой частоты, например высоко- частотной связи	НЧ СЧ (главным образом СЧ)	Несколько кВт	— До нескольких десятков км — В случае аобо- нентской ВЧ системы поме- хи были зарегистрированы до расстояния при- близительно 1000 км (0,03 – 1,8 В/м)	— Главным обра- зом, подвесной кабель с метал- лическим экра- ном (симмет- ричная пара, коаксиальная пара) — Кабельная про- водка в здании (между аппара- турой уплотне- ния и антенной, между ступеня- ми демодуля- ции) — Воздушная линия	Одиночный тон или невнятный шум в демодулированном телефонном канале (ухудшение отно- шения сигнал/шум в системе пере- дачи)	— Улучшение коэф- фициента экрани- рования кабеля, кабельной провод- ки и т. д. — Улучшение зазем- ления оболочки кабеля, промежу- точного усилителя, оконечной аппара- туры и т. п. — Переход на кабели, укладываемые в грунт, или на под- земные кабели — Выбор другого маршрута трас- сы кабеля — Повышение уровня сигнала, уменьше- ние длины усили- тельного участка — Компенсация асим- метрии полной проводимости жил цепи относи- тельно земли
Радиочас- тотный нагрев	СЧ (радио- вещание)	—	В непосредствен- ной близости от антенны радио- станции	— Воздушная ли- ния — Линейный ввод	Прожоги от воздей- ствия радиочастот	— Включение конден- саторов между жилами и заземле- нием

ПРИЛОЖЕНИЕ G

(к Рекомендации К.18)

Радиопомехи в промежуточных усилительных пунктах, системы передачи по коаксиальному кабелю и меры защиты

G.1 Подверженные влиянию системы передачи и помехи

В промежуточных усилительных пунктах высокочастотных систем передачи на практике наблюдались помехи, обусловленные радиоизлучением.

В тех случаях, когда частота наводимой радиоволны попадает в частотную полосу передачи, она вызывает появление одиночного тона или невнятного шума в демодулированном телефонном кабеле. Причиной помех в промежуточных усилительных пунктах являются индуктированные токи во внешних проводниках или экранах коаксиальных кабелей.

Частоты радиопомех в основном являются средними (СЧ) и высокими (ВЧ) (порядка 1 — 15 МГц).

G.2 Напряженность электрического поля

Радиопомехи возникают при напряженности электрического поля, превышающей 100 дБмкВ/м снаружи или 80 дБмкВ/м внутри здания усилительного пункта.

Степень вносимого зданием затухания зависит от типа используемого строительного материала. Например, для железобетонного здания затухание может составлять 20 — 30 дБ на частоте 1 — 15 МГц.

Электрическое поле внутри здания не является однородным; наблюдались значительные изменения его напряженности (около 20 — 30 дБ).

G.3 Меры защиты

Одной из наиболее эффективных мер защиты является улучшение экранирующих свойств коаксиальных кабелей. Коэффициент экранирования коаксиального кабеля зависит от его сопротивления связи (Z_T), поэтому целесообразно выбирать коаксиальные кабели с более низким сопротивлением связи. Например, используются микрокоаксиальные кабели с ферромагнитным экраном ($Z_T = 0,01$ мОм/м на 1 МГц) и трехоплеточные (экранированные) коаксиальные кабели ($Z_T = 0,1$ мОм/м на 1 МГц). Заменой двухоплеточного коаксиального кабеля на трехоплеточный может быть получено ослабление помехи на 15 — 20 дБ.

Хорошие результаты дает также применение соединения с низким сопротивлением связи между станционным кабелем и аппаратурой, а также обеспечение эффективных заземляющих устройств на промежуточных усилительных пунктах.

Библиография

- [1] SATO (T.), NAKAHIRA (M.), KOJIMA (N.) "Radio Wave Interference in Overhead Communication Cables", *Comptes rendus de la 22^e réunion de l'ITWCS*, 1973.
- [2] SCHULTZ (E.), VOGEL (W.) „Beeinflussung von Trägerfrequenz-Nachrichtensystemen durch hochfrequente Beeinflussungsquellen", (Perturbation des systèmes à courants porteurs par des sources à haute fréquence), *ETZ-A*, Bd. 85, H. 20, 1964.

СОВМЕСТНАЯ ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ В ТРАНШЕЯХ И ТУННЕЛЯХ

1 Общие положения

Совместная прокладка кабелей электросвязи и силовых кабелей в траншеях и туннелях при благоприятных условиях может иметь следующие преимущества:

- снижение общих затрат;
- более рациональное использование доступной площади для подземных сооружений;
- сокращение объема дорожно-ремонтных работ и, как следствие, сокращение задержек транспорта;
- более точно выполняемое разделение силовых кабелей и кабелей электросвязи.

2 Электрическая безопасность

Если силовые кабели и кабели электросвязи трудно отличить друг от друга, необходимо их четко маркировать.

Силовые кабели следует, как правило, прокладывать в земле глубже, чем кабели электросвязи.

Силовые кабели и кабели электросвязи должны располагаться на надлежащем расстоянии друг от друга в зависимости от:

- a) напряжения силового кабеля;
- b) типа силового кабеля;
- c) типа кабеля электросвязи;
- d) вида изоляционного материала, разделяющего кабели.

Минимальное расстояние часто оговаривается в национальных стандартах.

Национальные стандарты могут допускать меньшие расстояния при следующих условиях:

- силовой трехфазный кабель с общей оболочкой в качестве нейтрали имеет низкое напряжение, а кабель электросвязи имеет заземленную броню;
- кабели разделены бетонными перегородками или аналогичными материалами.

Для безопасности персонала, занятого земляными работами, высоковольтные силовые кабели должны иметь надежные защитные ограждения, выполненные из подходящих материалов (кирпич, бетон и т. д.).

3 Электромагнитное влияние

Во избежание высокой опасности повреждений и помех в кабелях электросвязи от влияния силовых кабелей необходимо соблюдать указания *Директив*. Это особенно важно, когда:

- a) силовой кабель является частью сети с глухозаземленной нейтралью;
- b) все три фазовых провода силовой линии являются отдельными кабелями (например, силовая линия с тремя отдельными однофазными кабелями);
- c) токи в силовых линиях содержат большое число гармоник.

Опасность и помехи отсутствуют, если:

- силовой кабель работает в нормальном режиме эксплуатации, а в случае трех отдельных однофазных кабелей они должным образом расположены и транспонированы;
- длина параллельного участка сближения сравнительно невелика (например, несколько сотен метров).

Правильное расположение и транспозиция фазовых проводов сети силовых кабелей позволяют эффективно снизить электромагнитное влияние.

Все другие металлические проводники в туннеле (например, трубопроводы, железобетонная арматура) обычно снижают индуцируемые продольные напряжения. Величина их коэффициента экранирования в значительной степени зависит от расположения различных устройств в туннеле и от конструкции самого туннеля и, следовательно, может быть определена только для каждого конкретного случая.

4 Другие опасности

Совместная прокладка в траншеях и туннелях увеличивает опасность проведения работ персоналом электросвязи вследствие:

- повреждения силовых кабелей при земляных работах;
- трудностей подхода и проблем изоляции при работе внутри туннелей;
- взрывов при утечке газа из труб газопровода, если они проложены в том же туннеле;
- скопления в туннелях вредных газов.

При согласовании вопроса о проведении работ должен оговариваться вопрос о мерах безопасности во избежание несчастных случаев.

5 Практические ограничения

Успешное совместное использование траншей и туннелей зависит от скоординированных действий всех заинтересованных сторон. Должны быть точно определены обязанности и ответственность каждой стороны. Для преодоления трудностей, вызванных дефицитом площади при прокладке кабелей под землей, и облегчения последующего технического обслуживания могут потребоваться специальные меры; они должны согласовываться до начала совместных строительных работ.

Рекомендация К.20 (Малага-Торремолинос, 1984 г.)

СТОЙКОСТЬ КОММУТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ К ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯМ И ИЗБЫТОЧНЫМ ТОКАМ

1 Общие положения

Целью настоящей Рекомендации является изложение основных методов испытания и критериев стойкости коммутационного оборудования электросвязи к перенапряжениям и избыточным токам. При чтении Рекомендации следует пользоваться руководством МККТГ „Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии” и Рекомендацией К.11, в которой рассматриваются общие экономические и технические аспекты защиты. Методы испытания могут изменяться с учетом конкретных местных условий и уровня технического развития.

2 Назначение

Настоящая Рекомендация относится к оборудованию телефонных станций и подобных центров коммутации электросвязи и рассматривает главным образом условия проведения испытаний в точках подключения двухпроводных абонентских линий. Оборудование, к которому подключены более сложные линии или с большей концентрацией нагрузки (такие как соединительные линии или цепи, включаемые в многоканальную аппаратуру), может быть испытано либо в соответствии с этой Рекомендацией, либо в соответствии с другими Рекомендациями, например К.15 и К.17, по целесообразности.

Данные испытания являются типовыми; хотя они применимы ко всему центру коммутации, допускается проводить эти испытания и на отдельных частях оборудования в ходе их разработки и проектирования. При проведении испытаний необходимо учесть все возможные условия коммутации, как в испытываемом блоке, так и в других частях оборудования, которые могут повлиять на результаты испытаний.

3 Условия возникновения перенапряжений и избыточных токов

В настоящей Рекомендации рассмотрены следующие виды перенапряжений и избыточных токов:

- импульсные напряжения, возникающие при грозовых разрядах непосредственно в линейных сооружениях или вблизи них (оборудование, испытанное в соответствии с этой Рекомендацией, не гарантировано от повреждений в результате мощных прямых ударов молнии);
- кратковременные переменные напряжения, возникающие обычно при коротком замыкании на соседних линиях электропередачи или электрифицированных железных дорогах;
- напряжения, возникающие при прямом соприкосновении линий электросвязи с линиями электропередачи, обычно небольшого напряжения.

Общепризнанным является тот факт, что при некоторых обстоятельствах могут возникнуть проблемы, если перенапряжения или избыточные токи появляются одновременно на ряде линий и вызывают большие токи в общей проводке или общих устройствах. Такие условия в настоящей Рекомендации не рассматриваются. Не рассматриваются также вопросы увеличения потенциала земли, которые в настоящее время изучаются МККТТ.

4 Уровни стойкости оборудования

4.1 Рассматриваются только два уровня стойкости: низкий уровень, приемлемый для районов, не подверженных влияниям, в которых возникающие напряжения и токи малы, и высокий уровень для районов, более подверженных влияниям. Принимается во внимание, что в районах, более подверженных влияниям, снаружи коммутационного оборудования в главных щитах переключений (ГЩП) или других местах может быть установлена защита.

4.2 Экстремальные условия не рассматриваются. В хорошо защищенных от влияний районах оборудования с меньшей стойкостью, чем определенная в Рекомендации, может работать удовлетворительно. С другой стороны, в районах, подверженных исключительно сильным влияниям, может потребоваться оборудование даже с более высокой стойкостью, чем определенная в Рекомендации. В равной степени возможны и другие сочетания стойкости оборудования и внешней защиты. Например, некоторые виды оборудования могут потребовать защиты даже в районах, не подверженных влияниям, а другое оборудование может работать удовлетворительно без внешней защиты в районах, подверженных влияниям. Хотя в этой Рекомендации описаны только две категории стойкости, но они охватывают большую часть современных потребностей.

4.3 Администрациям предлагается самим классифицировать местные условия размещения конкретного центра коммутации, принимая во внимание коммерческую политику, экономические и технические соображения. Рекомендация К.11 содержит полезную информацию для принятия решения.

4.4 Условия испытаний и испытательные напряжения, указанные в таблице 1/К.20, отражают те условия, которые предположительно будут иметь место на линиях в районах, не подверженных влияниям.

4.5 Условия испытаний и испытательные напряжения, указанные в таблице 2/К.20, воспроизводят условия влияния на оборудование с устройствами защиты, установленными в ГЩП, в районах, подверженных влияниям, и представляют собой дополнительные требования обеспечения совместимости с внешней защитой и нормального функционирования в районах с еще более тяжелыми условиями. На линиях вполне могут возникнуть более высокие напряжения, но, поскольку действует защита ГЩП, их влияние на оборудование слабее.

4.6 Оборудование, удовлетворяющее требованиям для районов, подверженных влияниям, может применяться в любых условиях; оборудование, удовлетворяющее только требованиям для районов, не подверженных влияниям, должно применяться исключительно в этих районах.

5 Граница станционного оборудования

Многообразие типов оборудования вынуждает рассматривать каждую станцию в виде „черного ящика” с тремя зажимами: А, В и Е (земля). Может оказаться, что некоторые защитные устройства уже установлены в оборудовании, размещены на его линейных платах и т. д. или подключены к оконечным зажимам оборудования. Для проведения испытаний требуется, чтобы изготовители определили границы „черного ящика”, при этом любое защитное устройство, установленное в оборудовании, должно рассматриваться как неотъемлемая часть данной станции.

6 Условия испытаний

Следующие условия относятся ко всем испытаниям, определенным в пункте 8.

6.1 Все испытания являются типовыми испытаниями.

6.2 Входные зажимы, на которых следует проводить испытания оборудования, должны быть определены изготовителем и обозначены как А, В и Е.

6.3 Оборудование должно быть испытано в любом рабочем состоянии, имеющем значительную продолжительность.

6.4 Оборудование должно выдерживать испытания, указанные в пункте 8, во всем предполагаемом эксплуатационном диапазоне температур и влажности.

6.5 При проведении испытаний оборудования, предназначенного для работы в районах, подверженных влияниям, необходимо иметь в виду, что в настоящее время обычно принято защищать абонентские линии в ГЩП с помощью устройств защиты от перенапряжений, таких как газонаполненные разрядники. Ввиду того, что в большинстве случаев, вероятно, такие устройства будут необходимы для отвода больших импульсных токов и что действие этих устройств защиты изменяет условия испытаний коммутационного оборудования станции, характеристики используемых внешних защитных устройств должны быть согласованы между поставщиком оборудования и Администрацией. Устройства защиты, имеющие характеристики в пределах согласованного диапазона, должны применяться в тех испытаниях, которые оговорены в таблице 2/К.20. После завершения каждой серии испытаний может быть установлен новый блок устройств защиты. С другой стороны, Администрации могут не включать внешние устройства защиты, а изменять подаваемые напряжения и их длительность таким образом, чтобы условия испытаний оборудования остались такими же, которые следует ожидать при испытаниях в соответствии с таблицей 2/К.20.

6.6 Во всех случаях, когда задано максимальное значение напряжения, испытания должны быть проведены и при более низких напряжениях, если это необходимо для подтверждения того, что оборудование будет выдерживать любое напряжение вплоть до установленного максимального значения.

6.7 Каждое испытание должно быть проведено такое число раз, которое указано в соответствующей таблице. Между отдельными подачами напряжения должен быть соблюден интервал времени в 1 минуту, а в случае импульсных испытаний должна изменяться полярность последовательных импульсов.

6.8 Испытания на влияние линий высокого напряжения и соприкосновения с линиями электропередачи должны проводиться на частотах, принятых в данной стране на электрической распределительной сети переменного тока или электрифицированных железных дорогах.

7 Допустимые нарушения или повреждения

Различают два типа нарушений или повреждений.

Критерий А. — Оборудование должно выдерживать испытание без повреждений или других нарушений (как, например, повреждения чувствительных элементов или неправильная работа устройств защиты от повреждений) и работать нормально после испытания, однако не требуется, чтобы оборудование правильно работало во время испытания. Если это допускается Администрацией, то испытание может привести к срабатыванию плавких предохранителей или других устройств, которые должны быть заменены или повторно включены перед возобновлением нормальной работы оборудования.

Критерий В. — В результате испытаний не должна возникать опасность пожара в оборудовании. Любое возникшее повреждение или постоянная неисправность должны быть ограничены малым числом внешних устройств сопряжения с линией.

Считается, что условия испытаний, которые обуславливают нарушения типа В, в действительности возникают настолько редко, что полная защита от них является неэкономичной.

8 Испытания

8.1 Общие положения

Используются следующие испытательные схемы для трех ситуаций возникновения перенапряжений и избыточных токов:

- рис. 1/К.20: грозовые разряды;
- рис. 2/К.20: влияние линий электропередачи;
- рис. 3/К.20: соприкосновение с линиями электропередачи.

Примечание. — В приложении А к настоящей Рекомендации приведены некоторые соображения, которые поясняют предлагаемые испытания. Реакция оборудования на воздействие грозовых импульсов зависит от величины его входного сопротивления. Для объяснения этой зависимости в приложении А дан пример, в котором, для лучшего понимания, входному сопротивлению присвоены такие значения, при которых возможно сравнение мгновенных значений напряжения в различных точках схемы. Эти значения входного сопротивления приведены лишь для примера и не входят в настоящую Рекомендацию.

8.2 Районы, не подверженные влияниям

Испытание оборудования, предназначенного для использования в районах, не подверженных влияниям, без внешней защиты, должно проводиться в соответствии с таблицей 1/К.20.

8.3 Районы, подверженные влияниям

Оборудование, предназначенное для использования в районах, подверженных влияниям, должно выдерживать испытания, указанные в таблицах 1/К.20 и 2/К.20.

ТАБЛИЦА 1/К.20

Условия испытаний и испытательные напряжения для районов, не подверженных влияниям

№	Испытание	Зажимы	Схема испытания	Максимальное значение испытательного напряжения и его длительность	Число испытаний	Приемочный критерий
1	Грозовые разряды	А и Е, В заземлен	Рис. 1а) /К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	Пункт 7, Критерий А
		В и Е, А заземлен	Рис. 1а) /К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	
		А + В и Е	Рис. 1б) /К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	
2	Влияние электропередачи	А + В и Е	Рис. 2/К.20 $R_1 = R_2 = 600 \text{ Ом}$ S_2 в положении выключено. Испытания проводятся при S_1 в положениях включено и выключено	$U_{ac(max)} = 300 \text{ В}_{эфф}$ 200 мс См. примечание 2	5 для каждого положения S_1	Пункт 7, Критерий А
3	Соприкосновение с линиями электропередачи	А + В и Е	Рис. 3/К.20 Испытания проводятся для каждого положения S См. примечание 3	$U_{ac(max)} = 220 \text{ В}_{эфф}$ 15 мин См. примечание 2	1 для каждого положения S	Пункт 7, Критерий Б

Примечание 1. — Администрации могут выбрать меньшее значение $U_{c(max)}$.

Примечание 2. — Администрации могут выбрать меньшее значение $U_{ac(max)}$ и могут изменить продолжительность испытания в соответствии с местными условиями (например, напряжением местной распределительной сети).

Примечание 3. — Во время этих испытаний в схеме могут быть оставлены термические катушки, плавкие предохранители, вставки и т. д.

ТАБЛИЦА 2/К.20

Условия испытаний и испытательные напряжения для районов, подверженных влияниям

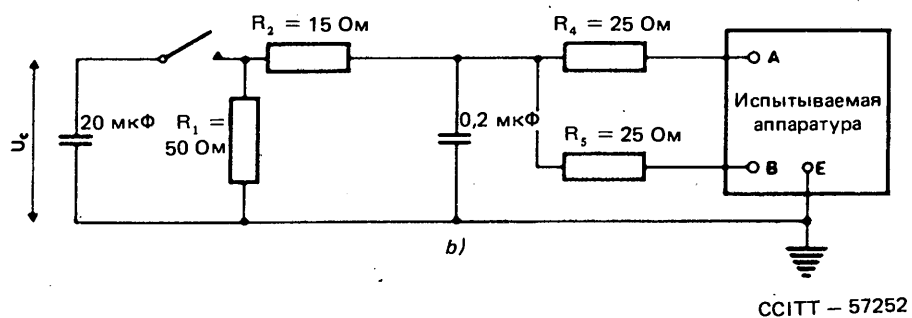
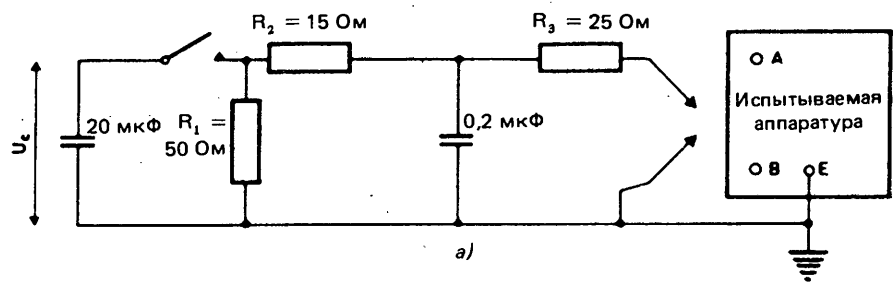
№ Испытание	Зажимы	Схема испытания	Максимальное значение испытательного напряжения и его длительность	Число испытаний	Дополнительная защита (см. п. 6.5)	Приемочный критерий
1 Грозовые разряды	А и Е, В заземлен	Рис. 1а)/К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	Нет	Пункт 7, Критерий А
	В и Е, А заземлен	Рис. 1а)/К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	Нет	
	А + В и Е	Рис. 1б)/К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	Нет	
2 Грозовые разряды	А и Е, В заземлен	Рис. 1б)/К.20	$U_{c(max)} = 4 \text{ кВ}$ См. примечание 2	10	Согласованная первичная защита	Пункт 7, Критерий А
	В и Е, А заземлен	Рис. 1а)/К.20	$U_{c(max)} = 4 \text{ кВ}$ См. примечание 2	10	Согласованная первичная защита	
	А + В и Е	Рис. 1б)/К.20	$U_{c(max)} = 4 \text{ кВ}$ См. примечание 2	10	Согласованная первичная защита	
3 (а) Влияние электропередачи	А + В и Е	Рис. 2/К.20 $R_1 + R_2 = 600 \text{ Ом}$ S_2 в положении включено	$U_{ac(max)} = 300 \text{ Вэфф}$ 200 мс См. примечание 3	5	Согласованная первичная защита	Пункт 7, Критерий А
3 (б) Влияние электропередачи	А + В и Е	Рис. 2/К.20 $R_1 + R_2 = 200 \text{ Ом}$ S_2 в положении включено	См. примечание 4	1	Согласованная первичная защита	Пункт 7, Критерий В

Примечание 1. – Если максимальное значение динамического (импульсного) напряжения пробоя согласованной первичной защиты меньше 1 кВ, то Администрации могут выбрать меньшее значение $U_{c(max)}$.

Примечание 2. – Администрации могут изменить $U_{c(max)}$ в соответствии с местными условиями.

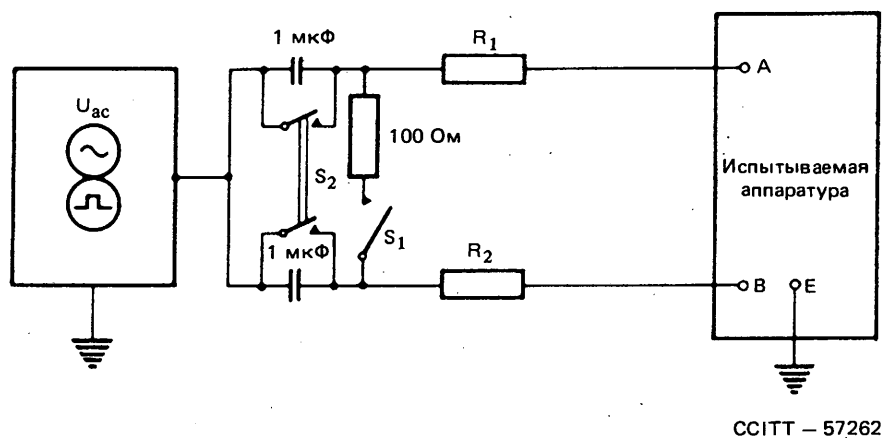
Примечание 3. – Администрации могут выбрать меньшее значение U_{ac} и изменить продолжительность испытания.

Примечание 4. – Значения испытательных напряжений и их длительности должны соответствовать Директивам МККТТ или таким другим требованиям, которые могут установить сами Администрации.



ССИТТ – 57252

РИСУНОК 1/К.20



ССИТТ – 57262

РИСУНОК 2/К.20

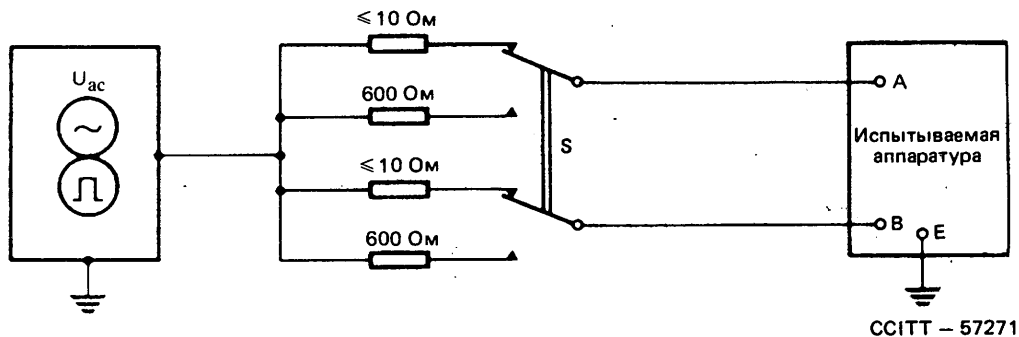


РИСУНОК 3/К.20

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации К.20)

Пояснения условий проведения испытаний

А.1 Грозовые разряды

А.1.1 Работа схемы испытания

На рис. А-1/К.20 показан испытательный генератор (см. рис. 1/К.20), который подключен к стационарной цепи с первичной защитой, установленной в ГЩП, и вторичной защитой — в самом стационарном оборудовании. За исключением испытательного генератора, как схема цепи, так и все параметры элементов выбраны лишь с целью пояснения работы схемы испытания, и они не предлагаются в качестве рекомендации для практического применения.

На рис. А-2/К.20 показана кривая зависимости напряжений и токов, возникающих в различных точках схемы на рис. А-1/К.20 при постепенном увеличении зарядного напряжения U_c .

При $U_c = 0 - 300$ В ток протекает только через сопротивление 100 Ом в оборудовании.

При $U_c = 300$ В срабатывает вторичная защита и ток I_T увеличивается более быстро.

При $U_c = 2385$ В напряжение U на устройствах первичной защиты в рассматриваемом примере достигает значения $U_s = 700$ В, а ток I_E достигает своего максимального значения 3 А .

Первичная защита срабатывает при $U_c = 2385$ В, и после этого общий ток возрастает значительно быстрее, достигая 100 А при $U_c = 4 \text{ кВ}$. Несмотря на это, напряжение U падает до низкой величины, а ток I_E , протекающий в оборудовании, уменьшается до очень малого значения и становится практически независимым от U_c .

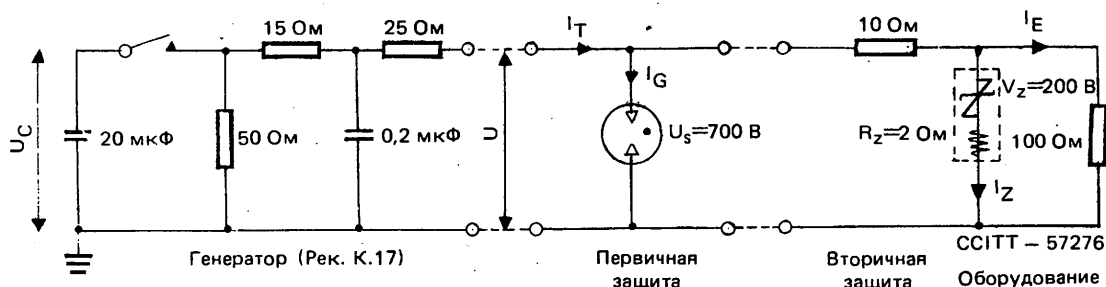
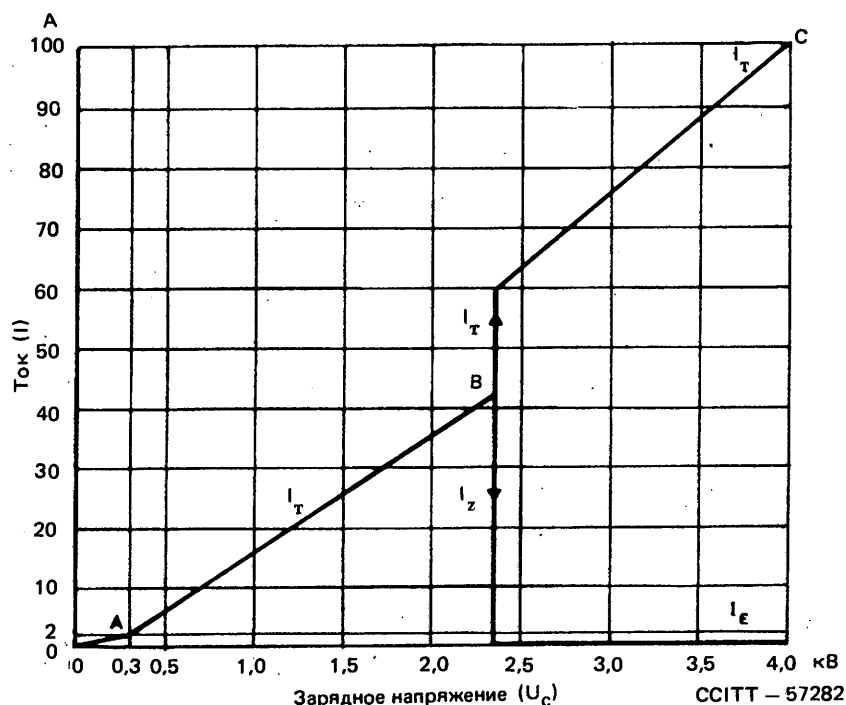


РИСУНОК А-1/К.20



Значения напряжений и токов на кривой

Точка кривой	U_C	U	I_T	I_G	I_Z	I_E
	(В)		(А)			
А: Срабатывание вторичной защиты	300	200	2	0	0	2
В: Перед пробоем газонаполненного разрядника	2385	700	42	0	39	3
В: После пробоя газонаполненного разрядника	2385	30	59	59	0	0,3
С: Максимальное значение U_C	4000	30	100	100	0	0,3

РИСУНОК А-2/К.20

А.1.2 Действие устройств защиты

Срабатывание первичной защиты при $U = U_s$ приводит к следующим двум результатам:

- оно ограничивает максимальное значение напряжения, приложенного к оборудованию, и, следовательно, в зависимости от его внутреннего сопротивления ограничивает максимальное значение тока, который должно выдерживать оборудование;
- оно вызывает очень быстрое изменение U и I , которые вследствие индуктивных или емкостных связей могут попасть в те чувствительные части коммутационного оборудования станции, которые не подвержены непосредственному воздействию напряжений, возникающих на линии.

По этим причинам важно, чтобы Администрация и поставщики оборудования договорились о первичной защите, которая должна применяться, а потребитель оборудования обеспечил или смоделировал эту защиту во время испытаний. При проведении испытаний необходимо учитывать допуски на элементы первичной защиты.

А.2 Влияние линий электропередачи

Индуктированные напряжения наиболее вероятны на длинных линиях, и в общем случае, когда абонентские линии не имеют низкоомных заземлений, можно считать, что источник индуктируемых напряжений имеет высокое входное сопротивление, состоящее из активного сопротивления провода 600 Ом, включенного последовательно с емкостью линии по отношению к земле 1 мкФ, как показано на рис. А-3/К.20. Испы-

тания 3(а) и 3(б) в таблице 2/К.20 представляют типичные требования соответственно к длинным и коротким линиям, но они необязательно воспроизводят предельные условия. Газонаполненные разрядники, показанные на рис. А-3/К.20, имеются только на линиях, подверженных влияниям. На рис. 2/К.20 работа таких разрядников имитируется переключателем S_2 , а телефонного аппарата — переключателем S_1 .

Директивы МККТТ допускают предельное значение 430 В для индуктированных напряжений в линиях электросвязи от обычных линий электропередачи и 650 В — от ЛЭП высокой надежности, однако большинство Администраций полагает, что индуктированные напряжения в линиях электросвязи будут ниже 300 В, за исключением линий, проложенных в районах, подверженных влияниям.

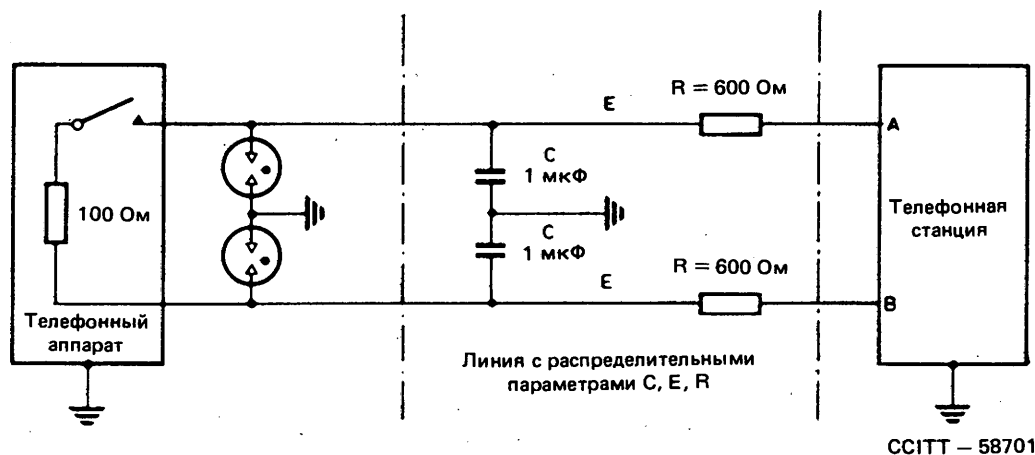


РИСУНОК А-3/К.20

А.3 Соприкосновение с линиями электропередачи

Прямое соприкосновение с электрической распределительной сетью может произойти вследствие повреждения проводов или кабелей, применения неисправного или непредусмотренного абонентского оборудования, а также по другим причинам. Соприкосновение может и не привести к срабатыванию автоматических выключателей электрической системы. Защита от переменных токов, возникающих в результате прямого соприкосновения, может оказаться дорогой и сложной. Поскольку такие случаи крайне редки, то не требуется, чтобы оборудование полностью выдерживало опасные напряжения и токи, возникающие при соприкосновении, но оно может повреждаться в допустимой степени.

Особую опасность для оборудования представляют следующие два случая:

- соприкосновение вблизи станции, когда общее сопротивление кабельной цепи и станционной нагрузки мало и протекает большой ток. Эта ситуация имитируется испытанием, показанным на рис. А-4/К.20, при подаче напряжения 220 В через сопротивление 10 Ом;
- соприкосновение на максимальном расстоянии от станции, когда общее сопротивление кабельной цепи и станционной нагрузки велико и длительно протекает небольшой, но опасный ток. Эта ситуация имитируется испытанием, показанным на рис. А-4/К.20, при подаче напряжения 220 В через сопротивление 600 Ом.

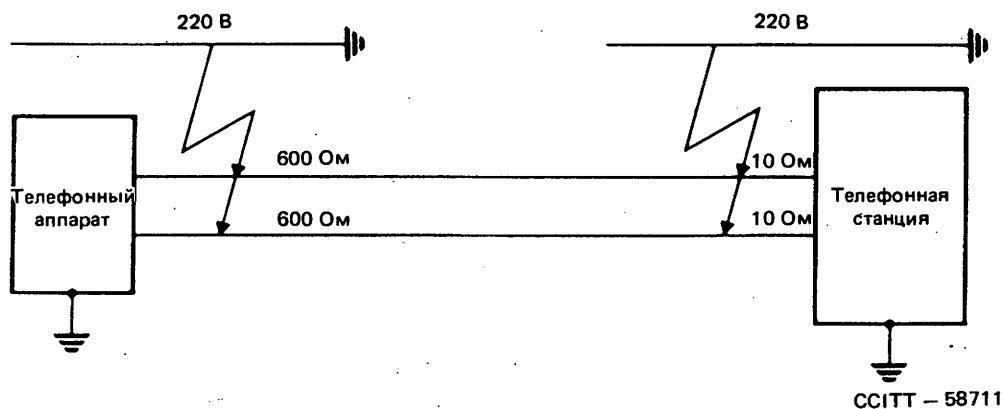


РИСУНОК А-4/К.20

ЧАСТЬ II

Рекомендации серии L

КОНСТРУКЦИЯ, ПРОКЛАДКА И ЗАЩИТА КАБЕЛЕЙ И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНЕЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

КОНСТРУКЦИЯ, ПРОКЛАДКА И ЗАЩИТА КАБЕЛЕЙ И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНЕЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рекомендация L.1

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

МККТТ,

учитывая,

(а) что определение мест повреждений подземных кабелей и устранение этих повреждений может повлечь за собой большие затраты,

(b) что перерывов в связи из-за этих повреждений следует избегать самым тщательным образом,

(с) что даже после квалифицированно произведенного ремонта качество кабеля ухудшается и срок службы его уменьшается,

единодушно рекомендует,

чтобы Администрации и частные эксплуатационные организации при прокладке кабельных линий руководствовались публикацией МККТТ *Рекомендации по конструкции, прокладке и защите кабелей электро-связи на сетях общего пользования*, МСЭ, Женева, исправления 1974 года, изменения и дополнения 1977 года.

Рекомендация L.2

ПРОПИТКА ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР

МККТТ обращает внимание на важность (по экономическим соображениям) вопроса о пропитке деревянных опор для воздушных линий электросвязи.

Для обеспечения Администраций, особенно в странах с недостаточно развитой сетью, информацией о процессах пропитки опор МККТТ выпустил руководство *Предохранение деревянных опор воздушных линий электросвязи*, МСЭ, Женева, 1974 год.

В основе этого руководства лежит первый проект, разработанный в 1968 — 1972 годах Администрацией Аргентины, измененный и дополненный с учетом информации, представленной Администрациями Австралии, Австрии, Чили, Франции, Италии, Федеративной Республики Германии, Соединенного Королевства и Швейцарии.

Рекомендация L.3 (Мар-дель-Плата, 1968 г.)

БРОНЕПОКРОВ КАБЕЛЕЙ

1 Тип бронепокрова

1.1 Наиболее распространенными типами бронепокрова являются:

- а) *ленточный бронепокров*, образуемый одной или несколькими стальными лентами, наложенными внахлестку спиралью с малым шагом на оболочку кабеля;
- б) *проволочный бронепокров*, образуемый плоской стальной проволокой или стальной проволокой круглого или трапециевидного сечения, наложенной спиралью со сравнительно большим шагом вокруг оболочки кабеля.

1.2. Эти два типа бронепокрова используются в комбинации с другими средствами внешней защиты (слой джута, пластмассовое покрытие) по конструкционным или механическим соображениям или для обеспечения более надежной защиты от коррозии.

2 Выбор бронепокрова

При решении вопроса о необходимости использования бронированных кабелей и при выборе той или иной конструкции следует учитывать местные условия прокладки кабеля, а именно:

- a) прокладка кабеля в канализации или непосредственно в земле;
- b) расположение траншеи вдоль дороги или на участке, принадлежащем частному лицу;
- c) материалы, используемые для оболочки кабеля;
- d) другие кабели, которые проложены или могут быть проложены по той же трассе;
- e) вид почвы: скалистая, песчаная, агрессивная или неагрессивная; присутствие микроорганизмов;
- f) глубина траншеи, которая во всех случаях должна быть не менее 50 см, а для кабелей большого диаметра — не менее 80 см;
- g) опасность магнитного влияния;
- h) опасность повреждения грызунами или насекомыми;
- i) опасность повреждения от ударов молнии;
- j) назначение линии связи; оправдываются ли особые меры предосторожности; при этом провололочная стальная броня обеспечивает дополнительную защиту, особенно в смотровых колодцах;
- k) требуемая длина прокладки, например при подводном пересечении рек (эти случаи редко встречаются, поэтому нет необходимости предусматривать новую конструкцию сухопутного кабеля с центральным проводом).

3 Обеспечиваемая защита

Что касается кабелей, проложенных непосредственно в земле, бронепокров обеспечивает целостность линии, надежность ее функционирования и защиту от:

- a) механических повреждений, причиняемых камнями, экскаваторами или инструментами для земляных работ;
- b) грызунов и насекомых;
- c) химической или электролитической коррозии;
- d) влияния атмосферных разрядов;
- e) магнитного влияния от соседних линий электропередачи.

4 Ленточный бронепокров

Ленточный бронепокров является предпочтительным для защиты от повреждения инструментами при земляных работах, остроугольными камнями и т. д. Кроме того, эта броня создает магнитный экран, защищающий цепи внутри кабеля; стальная провололочная броня в этом отношении гораздо менее эффективна, так как воздушные зазоры между отдельными стальными проволоками, наложенными вокруг кабеля, значительно уменьшают индуктивную связь между бронированной оболочкой и жилами кабеля.

5 Провололочный бронепокров

Бронепокров из стальной проволоки обеспечивает кабелю значительную дополнительную прочность на растяжение. Поэтому он рекомендуется в тех случаях, когда при прокладке кабеля требуются очень большие усилия (прокладка на длинных участках) или когда из-за условий прокладки (оседание почвы в горных районах, пересечение кабелем обширных водоемов или болот, прокладка кабеля в колодцах, расположенных в местах, имеющих уровень ниже окружающей местности) возникает повышенное натяжение кабеля.

6 Основной тип бронепокрова

Для кабелей с металлической оболочкой из свинца или алюминия обычно используется бронепокров из двух стальных лент, наложенных спиралью между двумя слоями пропитанной бумаги или пропитанного джута с внешней защитой из джутовой пряжи или другого волокнистого материала. Этот тип обеспечивает надежную защиту во всех случаях, перечисленных в пункте 3, выше.

Для кабелей с пластмассовой оболочкой можно использовать легкую броню из металлических лент (стальных, алюминиевых, медных) между двумя покрытиями из пластмассы (полиэтилен или поливинилхлорид). Кабели такой конструкции имеют защиту в основном от повреждений, указанных в пунктах 3 b) и 3 c), и в некоторой степени от повреждений, о которых шла речь в 3 a) и 3 d).

7 Бронепокров для магистральных кабелей

Для магистральных кабелей междугородной сети наиболее надежной защитой являются герметичная металлическая оболочка и классический бронепокров, описанный выше, однако стоимость такой защиты сравнительно велика.

Можно уменьшить стоимость кабеля, применив оболочку из тонкой сварной стали, защищенной от коррозии битумным покрытием и пластмассовым шлангом. Тем самым обеспечивается защита кабелей от повреждений, указанных в пунктах 3 а), б), с) и d), хотя и в меньшей степени; некоторая защита от магнитного влияния может быть обеспечена путем размещения проводников или лент из меди или алюминия под стальной оболочкой.

8 Кабели, проложенные в канализации

Опыт показывает, что кабели с симметричными парами, коаксиальными парами или комбинированные можно прокладывать в канализации на длину до 300 м при условии, что сила натяжения распределяется между жилами и элементами оболочки. Таким образом, можно обойтись без ранее применявшейся стальной проволоочной брони, за исключением некоторых особых случаев (например, когда очень важная магистраль большой протяженности прокладывается через реку).

9 Защита от коррозии — кабели с металлической оболочкой

Бронепокров из ленты или проволоки играет важную роль при защите от коррозии, потому что он позволяет сохранить в хорошем состоянии покрытие из пропитанного материала, на которое этот бронепокров накладывается, и предохранить металлическую оболочку от действий дифференциальной аэрации и т. д.

10 Грызуны и насекомые

В некоторых частях земного шара повреждения, причиняемые грызунами, являются весьма значительными. Ленточная или проволоочная броня является существенной защитой, но дорогостоящей. МККТТ изучает вопрос о возможном применении кабеля с послойной защитой из менее дорогостоящих материалов, например полиэтилен — тонкий алюминий — плакированная сталь — полиэтилен. В таком кабеле насекомые, проникающие через внешний слой полиэтилена, попадают на слой металла и дальше проникнуть не могут. В данном случае, если металл и начнет корродировать, то, по всей вероятности, позднее. Это не представляло бы большой опасности, если бы металл сверху и снизу имел полиэтиленовые покрытия (шланги). Кроме защиты от грызунов и насекомых этот тип конструкции обеспечивает дополнительную прочность при сравнительно небольших затратах.

11 Тропические районы

Что касается тропических районов, то следует обратить особое внимание на пункты 6 и 7, выше, и на опасность присутствия микроорганизмов.

Как правило, разумно отказываться от бронепокрова только в тех случаях, когда:

- кабель прокладывается в канализации;
- не требуется магнитный экран или его функции выполняет слой какого-либо металла, специально включенного с этой целью в конструкцию кабеля;
- исключается опасность коррозии или защита от коррозии обеспечивается каким-либо другим защитным слоем, включенным с этой целью;
- кабель прокладывается непосредственно в грунте, при этом почва однородна и не содержит очень твердых скальных пород, способных повредить кабель, а также нет опасности повреждения кабеля грызунами или насекомыми.

Однако местные особенности могут обуславливать необходимость бронепокрова даже в перечисленных выше случаях.

Рекомендация L.4 (Женева, 1972 г.; исправлена в Женеве, 1976 г., и в Малага-Торремолиносе, 1984 г.)

АЛЮМИНИЕВАЯ КАБЕЛЬНАЯ ОБОЛОЧКА

1 Общие положения

Благодаря техническому прогрессу все шире применяются алюминиевые оболочки для кабелей и теперь имеется возможность полностью использовать их положительные свойства.

К числу таких свойств относятся:

- низкая плотность (почти 1/4 плотности свинца);
- более высокая механическая прочность, чем у свинца, так что оболочка может быть легче не только за счет того, что алюминий легче свинца, но и за счет ее меньшей толщины;
- очень высокая прочность на вибрацию;
- большая удельная проводимость, позволяющая получить лучший коэффициент экранирования и более эффективную защиту от перенапряжений атмосферного происхождения.

В настоящее время установлено, что жесткость алюминиевых оболочек не вызывает никаких серьезных дополнительных проблем при прокладке.

Однако, поскольку алюминий в большей степени, чем свинец, подвержен воздействию электрохимической и электролитической коррозии, то для алюминиевых кабельных оболочек и мест сращивания отдельных строительных длин (соединительные муфты и прилегающие к ним участки кабеля) требуется внешнее защитное покрытие из пластмассы класса II (см. [1]).

Как видно из приведенного выше, алюминиевые оболочки имеют много преимуществ перед свинцовыми. Поэтому желательно для кабельных оболочек использовать алюминий, по крайней мере в тех случаях, когда стоимость таких кабелей будет не больше стоимости кабелей со свинцовой оболочкой и когда алюминиевые оболочки кабелей в большей степени удовлетворяют техническим требованиям. Особенно целесообразно применение кабелей с алюминиевой оболочкой на междугородных сетях.

2 Типы алюминиевых оболочек

2.1 Опрессованные оболочки

Оболочка этого типа создается путем опрессовывания алюминией сердечника кабеля. В зависимости от типа пресса опрессовка может идти непрерывно или прерывисто. В последнем случае следует принимать меры к тому, чтобы на участках, подверженных влиянию прерывистого характера процесса опрессовки, никаких проблем не возникало.

2.2 Сварные оболочки

Этот тип оболочки образуется путем наложения на сердечник кабеля алюминиевой полосы, которая сваривается вдоль.

2.3 Качество материала оболочки

Для повышения эффективности средств защиты следует обращать внимание на качество материала оболочки. При использовании чисто алюминиевой оболочки чистота алюминия должна быть не менее 99,5 % как для опрессованной, так и для сварной оболочки.

2.4 Выбор формы и толщины оболочек

После опрессовки или сварки оболочки ее оставляют гладкой (негофрированная оболочка) или гофрируют различными способами (гофрированная оболочка).

Оболочка может быть гофрированной или негофрированной в зависимости от диаметра сердечника кабеля, минимального радиуса изгиба при прокладке и механических характеристик используемого алюминия (см. [2]). Например, можно указать, что оболочку следует гофрировать, если диаметр сердечника кабеля превышает 40 мм.

Как указывалось в пункте 1, толщина алюминиевых оболочек обычно меньше, чем свинцовых оболочек.

В таблице 1/L.4 приведены рекомендуемые значения толщины, семь из которых применимы как для опрессованных, так и для сварных оболочек; однако толщина опрессованных оболочек должна быть не менее 0,9 мм, а сварных — не более 1,4 мм, то есть максимальной толщины, допускаемой при сварке существующими способами.

Не исключается применение оболочек меньшей толщины, чем указанная в таблице 1/L.4. И наоборот, в случае небронированных коаксиальных кабелей может оказаться необходимым применить оболочку большей толщины для улучшения механической защиты. Такое увеличение толщины может составлять приблизительно 0,3 мм.

Естественно, что в отдельных случаях (например, если требуются очень высокие коэффициенты защитного действия) могут использоваться значения, отличающиеся от указанных в таблице 1/L.4.

ТАБЛИЦА 1/L.4

Рекомендуемые значения толщины оболочек

Диаметр сердечника кабеля, мм		Толщина оболочки, мм	
минимум	максимум	негофрированная	гофрированная ^а
—	10	0,7 – 1,0	0,5 – 0,9
10	15	0,7 – 1,0	0,6 – 0,9
15	20	0,9 – 1,0	0,7 – 0,9
20	25	1,1	0,8 – 0,9
25	30	1,1 – 1,2	0,9
30	35	1,1 – 1,3	0,9 – 1,0
35	40	1,1 – 1,4	1,1
40	45	1,5	1,1 – 1,2
45	50	1,6	1,1 – 1,2
50	60		1,1 – 1,3
60	70		1,1 – 1,4
70	80		1,3 – 1,5

^а Если для гофрированной оболочки желательно получить приблизительно такой же коэффициент защитного действия, что и для негофрированной, толщина этой оболочки должна быть такой же, как у негофрированной оболочки.

3 Защитные покрытия

Как указывалось выше, поскольку алюминий, используемый для подземного кабеля, в большей степени подвержен коррозии, чем свинец, то для защиты кабельной оболочки и мест сращивания строительных длин кабеля (соединительные муфты и прилегающие к ним участки кабеля) следует применять водонепроницаемое покрытие (класс II) в соответствии с [1].

В настоящее время для защитных покрытий могут использоваться два типа пластмассового материала:

- а) поливинилхлорид;
- б) полиэтилен.

Предпочтение отдается полиэтилену, поскольку его общие характеристики и малая проницаемость для водяных паров обеспечивают лучшую защиту алюминия.

Для того чтобы влага, которая может проникнуть сквозь защитный покров (например, из-за какого-либо дефекта в покрытии), не распространялась вдоль поверхности оболочки и не расширяла тем самым области коррозии, необходимо применять водонепроницаемый слой, состоящий из клейкой ленты или соответствующей массы (компаунда).

Водонепроницаемый слой должен иметь хорошую адгезию к алюминию, особенно когда для покрытия используется поливинилхлорид, который, в отличие от полиэтилена, неплотно прилегает к оболочке после опрессовки.

В случае использования гофрированных оболочек битумная масса должна заполнять гофры таким образом, чтобы образовался полный контакт с внешним покрытием.

Эффективность водонепроницаемого слоя должна проверяться специальными испытаниями. Обычное испытание состоит из удаления части защитного покрытия с образца кабеля в алюминиевой оболочке и прикладывания к нему электрического тока от внешнего источника эдс. Через некоторое время следует проверить, ограничилась ли коррозия тем местом, с которого был удален внешний покров. Эффективность защитного покрова можно оценить с помощью испытания на плотность прилипания битумного компаунда к алюминиевой оболочке и к пластмассовому покрытию.

Для обеспечения постоянной эффективности защитного покрытия при прокладке кабелей в районах с высокой грозодеятельностью (в частности, во избежание пробоя оболочки вследствие удара молнии) следует принимать во внимание указания, приведенные в руководстве [3].

4 Сращивание алюминиевых оболочек

Сращивание алюминиевых оболочек является, несомненно, более трудной операцией, чем свинцовых оболочек, хотя эти трудности с развитием техники были сведены до минимума.

Сращивание алюминиевых оболочек производится несколькими методами, а именно с помощью:

- свинцовых муфт;
- свинцовых колец или конусов обычным способом или путем нанесения на алюминиевую оболочку специального клея с последующей припайкой свинцовых муфт;
- алюминиевых муфт, соединяемых с алюминиевой оболочкой посредством сварки под давлением (взрыв, давление или холодная сварка);
- клейких лент и эпоксидных паст и т. д.

Методы, используемые для сращивания алюминиевых оболочек, должны удовлетворять условиям, рекомендуемым в руководстве [4].

Для кабеля в алюминиевой оболочке, подвергающегося сильным температурным изменениям, напряжения, обусловленные сжатием кабеля, не должны влиять на места сращивания, поскольку это может привести к их повреждению, особенно в случае неогфрированных оболочек.

5 Катодная защита

Защита от коррозии зависит главным образом от антикоррозионных покрытий. Для предотвращения возможных дефектов и повреждений этих покрытий в качестве вспомогательной меры можно применять катодную защиту.

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Рекомендации по конструкции, прокладке и защите кабелей электросвязи на сетях общего пользования”, пункт 6.3, МСЭ, Женева, исправления 1974 года, изменения и дополнения 1977 года.
- [2] Там же, пункт 5.4.4.
- [3] Руководство МККТТ „Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии”, МСЭ, Женева, 1974, 1978 годы.
- [4] Руководство МККТТ „Монтаж кабелей с пластмассовыми оболочками”, МСЭ, Женева, 1978 год.

Рекомендация L.5 (Женева, 1972 г.)

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЕЙ, КРОМЕ СВИНЦОВЫХ ИЛИ АЛЮМИНИЕВЫХ

1 Типы кабелей с металлической оболочкой

1.1 Наиболее распространенным типом металлической оболочки, используемой вместо свинцовой или алюминиевой, является оболочка из гофрированной стали. Она представляет собой изготовленную из стальной ленты трубку, которая надевается на сердечник кабеля и сваривается соответствующим методом (дуговой сваркой в инертном газе, низкочастотным или высокочастотным нагревом) по всей длине с последующим гофрированием. Внешняя защита стальной оболочки обеспечивается с помощью специального вязкого антикоррозионного компаунда, который наносится на оболочку таким образом, что целиком заполняет все углубления гофров, и одной или нескольких покрывающих его пластмассовых лент. Сверху на защищенную компаундом и лентами поверхность наносится внешнее пластмассовое покрытие, образующее гладкую внешнюю оболочку.

1.2 Для защиты от индуктированных токов в кабеле, описанном в пункте 1.1, можно использовать алюминиевые или медные ленты, наложенные продольно или по спирали под оболочкой из гофрированной стали. Вместо оболочки из гофрированной стали можно также использовать оболочку из гофрированной меди.

2 Конструкция

2.1 Металлической ленте придается форма длинной трубки, надетой на сердечник кабеля, которая затем сваривается по всей длине и гофрируется.

2.2 Незащищенная сталь особенно подвержена коррозии; защита обычно состоит из слоя компаунда, в который погружаются пластмассовые ленты, причем так, чтобы гофры были целиком заполнены компаундом. Поверх компаунда методом опрессовки наносится внешняя оболочка из полиэтилена или сходного с ним материала класса II (см. [1]).

2.3 Обычно кабель не нуждается в бронировании, но в особых случаях можно применить броню.

3 Использование

Оболочки из гофрированной стали или меди могут использоваться для всех типов кабелей электросвязи. Ниже приведены основные соображения, определяющие применение таких кабелей:

- a) с учетом всех факторов (затрат на прокладку, размеров труб канализации, себестоимости кабеля) и несмотря на то, что диаметр такого кабеля больше диаметра кабелей с пластмассовой, свинцовой или негофрированной алюминиевой оболочкой, в большинстве случаев кабели электросвязи со стальными оболочками более экономичны, чем со свинцовыми;
- b) стальная оболочка устойчива к вибрации, вызванной движением железнодорожного и автомобильного транспорта;
- c) оболочка из гофрированной стали обладает хорошей гибкостью;
- d) оболочка из гофрированной стали с гладким внешним покрытием проста в обращении в процессе прокладки;
- e) один и тот же тип кабеля может прокладываться непосредственно в земле и в кабельной канализации;
- f) такая оболочка выдерживает сжатие средней силы и обеспечивает защиту от большинства механических повреждений камнями или землеройными инструментами;
- g) если пластмассовое покрытие кабелей со стальной оболочкой повреждено, то можно ожидать быстрого распространения коррозии.

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Рекомендации по конструкции, прокладке и защите кабелей электросвязи на сетях общего пользования”, пункт 6.3, МСЭ, Женева, исправления 1974 года, изменения и добавления 1977 года.

Рекомендация L.6 (Женева, 1972 г.)

МЕТОДЫ СОДЕРЖАНИЯ КАБЕЛЕЙ ПОД ГАЗОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ

МККТТ обращает внимание на возможность повышения надежности электросвязи за счет обеспечения защиты кабелей от проникновения влаги в случае пробоя или повреждения оболочки. В целях обеспечения непрерывности связи до конца проведения ремонтных работ МККТТ рекомендует Администрациям следовать указаниям, изложенным в руководстве „Защита кабелей электросвязи путем содержания их под газовым давлением”, МСЭ, Женева, 1970 год.

Рекомендация L.7 (Женева, 1976 г.)

ПРИМЕНЕНИЕ СОВМЕСТНОЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

1 Общие положения

Под совместной катодной защитой подземных металлических конструкций подразумевается защита от коррозии путем использования общих защитных устройств.

Совместная система защиты для нескольких подземных металлических конструкций состоит из электрических перемычек между ними, а также общих для них защитных устройств, удовлетворяющих условиям катодной защиты и электрического дренажа.

Использование совместной защиты повышает надежность линий, проложенных непосредственно в грунте, повышает эффективность устройств катодной защиты, а также сокращает общие капиталовложения и себестоимость обслуживания системы защиты.

2 Условия применения совместной катодной защиты

Совместную катодную защиту подземных металлических конструкций целесообразно применять в тех случаях, когда различные конструкции располагаются вблизи друг от друга или пересекаются и когда нужно избежать вредного влияния защищенных конструкций на соседние незащищенные сооружения, при условии, что это экономически выгодно и нет других более подходящих средств исключения такого влияния. Вредное влияние, оказываемое на соседние подземные металлические конструкции катодной поляризацией защищаемого сооружения, проявляется в том случае, когда:

- а) измеренные потенциалы больше или меньше рекомендованных значений;
- б) возрастает опасность коррозии соседних подземных металлических конструкций.

Совместная защита кабелей электросвязи и других конструкций наиболее целесообразна в том случае, если:

- а) расстояние между соседними подземными металлическими конструкциями не превышает 50 м;
- б) проложенные в грунте линии пересекаются;
- в) заземлители или реактивные аноды системы катодной защиты оказывают вредное влияние на соседние незащищенные конструкции.

Согласно [1], совместная защита кабелей электросвязи и электропередачи может рассматриваться в том случае, если потенциал кабеля электросвязи по отношению к земле не превышает допустимого напряжения, предписанного местными или национальными правилами безопасности при аварийном заземлении или коротком замыкании в сети электропередачи.

Совместная катодная защита должна обеспечивать на защищаемых конструкциях потенциалы, имеющие предельные значения, указанные в [1].

При совместной защите можно воспользоваться автоматическими устройствами, ограничивающими величину тока катодной защиты.

3 Условия применения электрических перемычек

В целях обеспечения электрического контакта между конструкциями, имеющими совместную защиту, используются специальные перемычки. Перемычки могут быть прямыми с включенными в них сопротивлениями (с целью ограничения величины тока) или поляризованными.

Прямые перемычки применяются в следующих случаях:

- а) когда подземные металлические конструкции одного и того же типа пересекаются или сближаются;
- б) когда включение перемычек между подземными конструкциями различных видов не снижает эффективности первоначальной системы катодной защиты.

Перемычки с сопротивлениями, которые ограничивают величину тока, прикладываемого к конструкциям различного типа, следует применять в том случае, когда нужно воздействовать на величину потенциалов, возникающих в этих конструкциях.

Поляризованные перемычки следует применять:

- а) в совместных системах электрического дренажа и катодной защиты;
- б) в целях предотвращения прохождения тока из трубопровода в сооружение электросвязи;
- в) для предотвращения повреждений устройства катодной защиты.

Перемычки не должны устанавливаться между проложенными в грунте кабелями электросвязи и электропередачи, если это небезопасно при повреждении электросети и не предусмотрено местными и национальными правилами безопасности.

4 Контроль за работой устройств совместной катодной защиты

Работа устройств совместной катодной защиты должна контролироваться путем:

- а) периодического осмотра устройств и оборудования защиты;
- б) периодического измерения разности потенциалов между сооружением и землей; при этом оборудование защиты последовательно включается и отключается от всех сооружений, для которых предусмотрена система совместной защиты, в соответствии с принятыми местными методами.

Испытания или изменения в системе совместной катодной защиты рекомендуется проводить в присутствии представителей эксплуатационных организаций, подземные сооружения которых обеспечиваются совместной защитой, или с их согласия.

Библиография

- [1] Руководство МККТТ „Рекомендации по конструкции, прокладке и защите кабелей электросвязи на сетях общего пользования”, МСЭ, Женева, исправления 1974 года, изменения и дополнения 1977 года.

Рекомендация L.8 (Женева, 1976 г.)

КОРРОЗИЯ, ВЫЗЫВАЕМАЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

Результаты лабораторных опытов и наблюдений в процессе эксплуатации проложенных кабелей показывают, что блуждающие переменные токи могут вызвать коррозию.

Однако другие опыты, проведенные на свинце с целью выявления действия постоянного и переменного токов (по потере массы металла), показывают, что переменный ток вызывает менее слабую коррозию по сравнению с постоянным. Коррозия в этом случае проявляется в питтинговой форме.

Однако следует заметить, что:

- возникая довольно редко, коррозия под влиянием переменного тока оказывается сильнее на частотах ниже 50 или 60 Гц (обычная промышленная частота);
- могут иметь место процессы выпрямления тока; они обусловлены характером грунта, а также наличием окисей или различных пленок на поверхности металлов.

Практически невозможно установить, при каких значениях плотности тока и напряжения возникает коррозия. Точечный характер повреждения, анодные и катодные реакции на одной и той же поверхности металлов и изменение химических характеристик среды в настоящее время не позволяют получить сколь угодно точное представление или определение критической плотности тока.

Можно предположить, что переменный ток при малом напряжении обычно не опасен для стали или свинца, но в некоторых случаях может вызвать коррозию алюминия.

