МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

ПРАВИЛА

ЗАЩИТЫ УСТРОЙСТВ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ОТ ОПАСНОГО И МЕШАЮЩЕГО ВЛИЯНИЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Часть I

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОПАСНЫЕ ВЛИЯНИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

ПРАВИЛА ЗАЩИТЫ УСТРОЙСТВ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ, ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ОТ ОПАСНОГО И МЕШАЮЩЕГО ВЛИЯНИЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Часть I

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ОПАСНЫЕ ВЛИЯНИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1966 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.394.1+621.391.1.+621:398:621.391.823

ПРЕДИСЛОВИЕ

Период со времени выпуска «Правил ограждения сооружений связи и сигнализации от вредного действия установок сильного тока» (Связьиздат, 1943 г.) характеризуется прогрессом в области проводной связи и энергетики. Средства проводной связи развивались по пути повышения требований к качеству телефонно-телеграфного сообщения, внедрения кабельных линий, каналов в. ч. и тонального телеграфа, необслуживаемых усилительных станций и их дистанционного питания по системе провод — земля.

В настоящее время по линиям связи предполагается передача не только телефонно-телеграфной, но и дискретной информации.

Энергетика развивалась в направлении строительства мощных электростанций, создания единой энергосистемы страны, увеличения протяженности линий электропередачи, увеличения их номинальных напряжений и токов, введения неполнофазных режимов работы, ведущих к увеличению влияющих токов и напряжений, а также применения более совершенных быстродействующих устройств релейной защиты.

Указанные моменты прогресса с учетом фактора экономики, безопасности обслуживания средств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики и обеспечения качества передаваемой по ним информации отражают новые «Правила».

Настоящие Правила разработаны научно-исследовательскими и проектными организациями Министерства связи СССР, Министерства энергетики и электрификации СССР и Министерства путей сообщения СССР на основе исследований и опыта эксплуатации устройств энергетики и связи.

В создании Правил приняли участие следующие товарищи: член-корр. АН СССР М. В. Костенко, проф. М. И. Михайлов (ЦНИИС МС), канд. техн. наук А. А. Снарский (ЦНИИ МПС), канд. техн. наук В. Б. Соколов (ВНИИЭ), инженеры А. А. Желудков (ОДП ин-та Энергосеть проект), К. Е. Михайлов (ин-т Энергосетьпроект), Ф. И. Симонов (Министерство энергетики и электрификации СССР), А. С. Хоров (ЦНИИС МС).

Правила состоят из двух частей: часть I «Общие положения, опасные влияния» и часть II «Мешающие влияния».

Настоящие Правила являются обязательными для всех организаций, ведущих проектирование, строительство и эксплуатацию энергоустановок, сооружений связи и сигнализации.

Редакторы *Н. Е. Мартышевский* и *А. С. Хоров* Технический редактор *Н. В. Сергеев*

Сдано в набор 22/IV 1966 г. Подписано к печати 8/VIII 1966 г.
Т-11067 Бумага типографская № 2 70×108¹/₁₆ Печ. л. 3,5 Уч.-изд. л. 4,22
Тираж 14 000 экз. Цена 21 коп, Заказ 2382

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель председателя государственного производственного комитета по энергетике и электрификации СССР

Н. Чупраков

3 февраля 1965 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель министра связи СССР

И. Клоков

12 февраля 1965 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель министра путей сообщения СССР

А. Подпалый

11 февраля 1965 г.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1-1. Настоящие Правила разработаны в соответствии с постановлением Совета Труда и Обороны от 9/II 1927 г. «О мерах ограждения установок слабого тока от действия установок сильного тока» [1]. Выполнение правил является обязательным для организаций, в ведении которых находятся линии электропередачи, устройства проводной связи, принадлежащие любым ведомствам, железнодорожной сигнализации и телемеханики.

1-2. Настоящие правила распространяются на:

воздушные и кабельные линии и станционные устройства передачи электрической энергии переменного тока с напряжением от 1 до 750 *кв* — именуемые далее влияющими линиями (ВЛ);

устройства проводной связи, проводного вещания, железнодорожной сигнализации и телемеханики, к которым относятся воздушные и кабельные линии и подключенная к ним аппаратура, именуемые далее линиями связи (ЛС).

Примечание. Защита устройств проводной связи энергосистем и установок связи со специальным режимом обслуживания осуществляется по особым правилам.

1-3. Назначение Правил заключается в установлении допустимых величин опасного и мешающего влияний ВЛ и ЛС и определении достаточных мер защиты, обеспечивающих нормальную эксплуатацию устройств связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики. Правила содержат технические требования, которым должны удовлетворять устройства ЛС и ВЛ применительно к условиям защиты ЛС от влияния ВЛ.

При этом принимается, что ВЛ соответствуют «Правилам устройства электроустановок» (изд-во «Энергия», 1964), а ЛС — действующим ВТУ Министерства связи СССР.

1-4. Сооружение и реконструкция устройств, перечисленных в п. 1-2, допускается при условии выполнения расчетов опасных и мешающих влияний ВЛ и выполнений необходимых мер защиты от них на ЛС.

Мероприятия по защите должны определяться и согласовываться с заинтересованными организациями при проектировании ВЛ и ЛС.

1-5. При увеличении влияющих токов и напряжений по сравнению с проектными должен быть произведен поверочный расчет опасного и мешающего влияний на ЛС. Поверочные расчеты влияния должны проводиться также и при подвеске дополнительных цепей на ЛС. В случае необходимости должны быть осуществлены дополнительные защитные мероприятия.

Контроль за выполнением расчетов и защитных мероприятий осуществляется организациями, в ведении которых находятся ЛС.

1-6. Документация, исходные данные для расчетов влияний представляются ведомствами, которым принадлежат линии (ВЛ или ЛС) в объеме, указанном в приложении 5.

1-7. Вновь сооружаемые или реконструируемые ВЛ или ЛС сдают в эксплуатацию после осмотра, проверки и измерений, которые проводятся по требованию приемочной комиссии согласно приложению 4 В состав приемочной комиссии должны включаться представители заинтересованных ведомств.

1-8. Стоимость защитных мероприятий на ЛС должна включаться в смету объекта, строительство которого вызывает необходимость проведения этих мероприятий.

1-9. При возникновении на эксплуатируемых ЛС влияний, превышающих установленные нормы, проводятся дополнительные защитные мероприятия за счет организации, сооружения которой явились причиной увеличения влияния.

1-10. Контроль и ответственность за техническое состояние защитных мероприятий и эксплуатацию защитных устройств на ЛС возлагается на ведомства, эксплуатирующие эти ЛС.

1-11. Влияющие линии оказывают на ЛС электромагнитное и гальваническое влияния.

Влиянию магнитного поля подвержены воздушные и кабельные ЛС, влиянию электрического поля подвержены только воздушные ЛС, гальваническому влиянию под-

[1] Сборник законов и распоряжений рабоче-крестьянского правительства Союза Советских Социалистических республик, 7 марта 1927 г., № 11, отдел первый, статья 112.

вержены цепи воздушных и кабельных ЛС, использующих землю в качестве обратного провода или соединенных с землей.

1-12. Влияющие линии могут оказывать на цепи ЛС опасные и мешающие влияния.

Опасным влиянием называется такое влияние, при котором напряжения и токи, возникающие в цепях ЛС, могут создавать:

опасность для жизни обслуживающего персонала и абонентов ЛС;

повреждения аппаратуры и приборов, включенных в цепи ЛС;

ложные сигналы железнодорожной сигнализации и телемеханики, которые могут приводить к авариям на железной дороге.

Мешающим влиянием называется такое влияние, при котором в каналах связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики появляются помехи, нарушающие нормальное действие этих устройств.

1-13. *Влияющей линией с изолированной нейтралью* называется высоковольтная линия в системе, в которой нейтрали трансформаторов или генераторов не соединены с заземляющим устройством или присоединены к нему через аппараты, компенсирующие емкостный ток в сети, или через аппараты с большим сопротивлением.

1-14 *Влияющей линией с заземленной нейтралью* называется высоковольтная линия в системе, в которой нейтрали трансформаторов или генераторов соединены с заземляющим устройством непосредственно или через аппараты, имеющие малые сопротивления.

1-15. *Несимметричными ВЛ* называются линии электропередачи, если работа их в нормальном режиме сопровождается появлением влияющих токов в земле. К таким линиям относятся:

симметричные трехфазные линии электропередачи при работе их в неполнофазном режиме;

трехфазные линии электропередачи с двумя фазовыми проводами и с использованием земли в качестве третьего провода.

1-16. Как правило, работа симметричных ВЛ с заземленной нейтралью в неполнофазном режиме не разрешается более 2 *ч*.

В случаях, когда по техническим причинам невозможно восстановить нормальную работу симметричных ВЛ в течение 2 *ч*, организации, отвечающие за нормальную работу ВЛ, должны в установленном порядке сообщить об этом персоналу ЭТУС для принятия соответствующих мер по снижению недопустимого влияния.

1-17. *Сближением* между ВЛ и ЛС называется такое их взаимное расположение, при котором ЛС находится в зоне опасного или мешающего влияния ВЛ.

1-18. *Шириной сближения* между ВЛ и ЛС называется кратчайшее расстояние между проводами этих линий.

1-19. *Параллельным участком сближения ВЛ и ЛС* называется такое их взаимное расположение, при котором ширина сближения между ними остается постоянной или отличается по длине участка сближения от среднего значения не более чем на 10%. Если это условие не выполняется, то участок сближения называется *косым*. Для косого участка сближения определяется эквивалентная ширина сближения (см. приложение 2).

1-20. Расчетной длиной участка косого сближения называется длина проекции ЛС на ось ВЛ в пределах этого участка.

2. ОПАСНЫЕ ВЛИЯНИЯ

ТРЕБОВАНИЯ И НОРМЫ

2-1. Опасные влияния могут возникать в случаях:

заземления фазового провода трехфазных ВЛ с заземленной нейтралью;

заземления одного или двух фазовых проводов симметричных ВЛ с изолированной нейтралью;

нормального режима работы несимметричных ВЛ и заземления фазового провода.

2-2. Опасное влияние ВЛ и ЛС учитывается при условиях:

заземления фазового провода трехфазных симметричных ВЛ с заземленной нейтралью — для всех видов воздушных и кабельных ЛС;

заземления одного фазового провода трехфазных ВЛ с изолированной нейтралью — для воздушных ЛС всех видов;

заземления двух фазовых проводов при наиболее неблагоприятном случае для ВЛ с изолированной нейтралью — только для воздушных и кабельных цепей полуавтоматической блокировки с блок-механизмами.

2-3. При однофазных коротких замыканиях фазового провода на землю трехфазных симметричных ВЛ с заземленной нейтралью, а также несимметричных ВЛ на ЛС применять меры защиты не требуется, если индуктированная продольная э. д. с. на длине гальванически неразделенного участка ЛС не будет превышать величин, приведенных в табл. 2-1.

2-4. При нормальном режиме работы несимметричных ВЛ на ЛС применять меры защиты не требуется, если индуктированная продольная э. д. с. на длине гальванически неразделенного участка ЛС не будет превышать величин, указанных в табл. 2-2.

2-5. При условии взаимного соглашения между владельцами ЛС и ВЛ о применении специальных мер защиты при работах на кабельных ЛС напряжение на жилах цепей кабельных ЛС от влияния

Таблица 2-1

Допустимые продольные э. д. с. на проводах цепей ЛС, индуктируемые ВЛ с заземленной нейтралью при однополюсном коротком замыкании фазового провода на землю

Наименование цепей связи	Допустимая индуктированная продольная э. д. с. E в проводах ЛС на длине гальванически неразделенного участка сближения, $в_{эфф}$
Цепи междугородных кабельных ЛС без дистанционного питания усилителей или с дистанционным питанием усилителей по системе „провод—провод" с незаземленным выходом источника питания	Не более испытательного напряжения изоляции жил кабеля по отношению к экрану или металлической оболочке строительной длины $E \leqslant U_{исп}$
Цепи воздушных и кабельных ЛС с дистанционным питанием усилителей по системе „провод—земля" постоянным током и „провод—провод" с заземленным полюсом источника постоянного тока	Не более испытательного напряжения изоляции жил кабеля по отношению к экрану или металлической оболочке кабеля строительной длины минус напряжение дистанционного питания, уменьшенное в $\sqrt{2}$ раз: $E \leqslant U_{исп} - \frac{U_{д.п}}{\sqrt{2}}$
Цепи междугородных кабельных ЛС с дистанционным питанием усилителей по системе „провод—провод" переменным током с заземленной средней точкой источника питания в начале или в конце цепи дистанционного питания	Не более испытательного напряжения изоляции жил кабеля по отношению к экрану (заземленному проводу) или к металлической оболочке кабеля строительной длины минус половина напряжения дистанционного питания: $E \leqslant U_{исп} - \frac{U_{д.п}}{2}$
Цепи городских кабельных ЛС[1]	Не более испытательного напряжения изоляции жил по отношению к металлической оболочке строительной длины
Цепи воздушных ЛС с деревянными опорами, в том числе с железобетонными приставками	При времени отключения поврежденного участка ВЛ: до 0,15 *сек* —2 000 до 0,3 *сек* —1 500 до 0,6 *сек* —1 000 до 1,2 *сек* и выше —750
Цепи воздушных ЛС с железобетонными или металлическими опорами	При времени отключения поврежденного участка ВЛ: до 0,15 *сек* —320 до 0,3 *сек* —240 до 0,6 *сек* —160 до 1,2 *сек* и выше —120
Однопроводные цепи полуавтоматической блокировки с блок-механизмами	60

Примечания: 1. Сигнальные цепи, подвешенные на высоковольтных линиях автоблокировки, дополнительной защиты от влияния ВЛ не требуют.

2. На длине усилительного участка воздушной ЛС, подверженной опасному влиянию ВЛ, все молниеотводные и заземляющие спуски должны быть выполнены изолированным проводом марки ЛПВ.

[1] При наличии цепей дистанционного питания применяют нормы первых трех пунктов данной таблицы.

Таблица 2-2

Допустимые продольные э. д. с. на ЛС при влиянии несимметричных ВЛ

Тип линии связи	Допустимая продольная э. д. с. E на длине гальванически неразделенного участка сближения, $e_{эфф}$, при влиянии ВЛ, работающих в несимметричном режиме	
	более 2 ч	менее 2 ч
Воздушная линия с деревянными опорами, в том числе с железобетонными приставками . .	60	120*
Воздушная линия с железобетонными опорами	36	70*
Кабельная линия	36	70

* При переходе ВЛ на работу в длительный неполнофазный режим обслуживающий персонал ВЛ обязан немедленно уведомить об этом персонал эксплуатационного технического узла связи (ЭТУС).

несимметричных ВЛ может быть допущено не более величин, указанных в табл. 2-3.

2-6. Продольная э. д. с., индуктированная в однопроводных и двухпроводных цепях полуавтоматической блокировки с блок-механизмами, при влиянии ВЛ, постоянно работающей в несимметричном режиме, не должна превышать 30 *в*.

2-7. В тех случаях, когда допустимая продольная э. д. с. на проводах воздушных ЛС на длине гальванически неразделенного участка превышает установленную норму (табл. 2-1) и когда в качестве защиты применяют разрядники, напряжение провода по отношению к земле в любой точке ЛС, а также падение напряжения на сопротивлении заземления разрядников не должны превышать величин, указанных в табл. 2-4.

Таблица 2-4

Допустимое напряжение провода ЛС по отношению к земле и падение напряжения на сопротивлении заземления разрядников при их работе

Время отключения поврежденного участка ВЛ, *сек*	Допустимое падение напряжения, $e_{эфф}$	
	на проводах воздушных ЛС с деревянными опорами, в том числе с железобетонными приставками	на жилах кабельных ЛС
До 0,15	1 300	не более величин, указанных в табл. 2-1
До 0,30	1 000	
До 0,60	750	
Свыше 0,60	500	

Таблица 2-3

Допустимые продольные э. д. с. от влияния несимметричных ВЛ на кабельные ЛС

Наименование цепей связи	Допустимая индуктируемая э. д. с. E на жилах цепей кабельных ЛС на длине гальванически неразделенного участка сближения при влиянии несимметричных ВЛ, $e_{эфф}$
Цепи кабельных ЛС без дистанционного питания усилителей или с дистанционным питанием усилителей по системе „провод—провод" с незаземленным выходом источника тока	Не более наименьшего допустимого рабочего напряжения между жилами цепей кабелей строительной длины или смонтированного участка: $E \leqslant U_{раб.\,мин}$
Цепи кабельных ЛС с дистанционным питанием усилителей по системе „провод—земля" постоянным током и по системе „провод—провод" с заземленным полюсом источника постоянного тока	Не более наименьшего допустимого рабочего напряжения между жилами цепи минус напряжение дистанционного питания, уменьшенное в $\sqrt{2}$ раз: $E \leqslant U_{раб.\,мин} - \frac{U_{д.п}}{\sqrt{2}}$
Цепи кабельных ЛС с дистанционным питанием усилителей по системе „провод—провод" переменным током с заземленной средней точкой источника питания в начале цепи дистанционного питания или в конце секции дистанционного питания	Не более наименьшего допустимого рабочего напряжения минус половина напряжения дистанционного питания $E \leqslant U_{раб.\,мин} - \frac{U_{д.п}}{2}$

Примечание. Под наименьшим допустимым рабочим напряжением понимается напряжение, указанное в документации на кабель.

В местностях с удельным сопротивлением грунта более 50 *ом · м* в качестве меры защиты обслуживающего персонала телефонно-телеграфных станций должны применяться разделительные трансформаторы на вводах всех цепей воздушных ЛС, подверженных опасному влиянию ВЛ. При этом на вводе этих цепей разрядники типа РБ-280 не устанавливаются и заземления не переоборудуются. Линейные обмотки разделительных трансформаторов от грозовых перенапряжений защищаются искровыми или вилитовыми разрядниками с напряжением зажигания 3 000 *в*.

2-8. Разрядный ток через тело человека, коснувшегося провода ЛС, подверженного влиянию ВЛ с изолированной нейтралью при замыкании фазового провода на землю, не должен превышать 10 *ма*. При этом напряжение провода ЛС по отношению к земле не должно быть более 200 $в_{эфф}$.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ОПАСНОГО ВЛИЯНИЯ

2-9. Если по техническим, экономическим или эксплуатационным условиям окажется нецелесообразным или невозможным выбрать трассу проектируемой ВЛ или ЛС так, чтобы удовлетворялись установленные этими Правилами нормы, применяют специальные меры защиты.

2-10. К специальным мерам защиты на ВЛ относятся:

применение хорошо проводящих заземленных тросов, подвешенных на опорах или проложенных в земле;

частичное разземление нейтралей трансформаторов высоковольтной сети, обеспечивающее снижение токов короткого замыкания ВЛ;

применение на ВЛ с изолированной нейтралью аппаратуры для контроля состояния изоляции фазовых проводов по отношению к земле или перекоса фазовых напряжений, обеспечивающей скорейшее обнаружение и устранение электрического влияния на ЛС;

частичное или полное каблирование ВЛ на городских участках;

применение на ВЛ с заземленной нейтралью аппаратуры контроля токов каждой фазы.

2.11. К специальным мерам на ЛС относятся:

включение специальных разрядников между каждым проводом воздушной ЛС и землей в пунктах, определяемых расчетом (см. приложение 7). Как правило, общее количество разрядников на 100 *км* ЛС не должно превышать для уплотненной цепи 15 шт., для неуплотненной цепи — 25 шт. Допустимое количество разрядников ограничивается эксплуатационными соображениями, поэтому по специальному соглашению между заинтересованными сторонами допускается, в исключительных случаях, установка большего количества разрядников. Защита разрядниками цепей полуавтоматической блокировки и цепей фидерных линий проводного вещания не допускается;

включение разделительных трансформаторов в телефонные цепи без дистанционного питания и разделительных трансформаторов с защитными контурами при наличии дистанционного питания;

включение дренажных катушек или дросселей с заземленной средней точкой в телефонные цепи без дистанционного питания и дренажных катушек с резонансными заземляющими контурами в телефонные цепи с дистанционным питанием;

относ ЛС на расстояния, при которых продольные э. д. с. не будут превышать допустимых норм;

частичное или полное каблирование ЛС. При каблировании ЛС, в случае необходимости, следует применять кабели с оболочками, имеющими повышенное экранирующее действие;

цепи ЛС (местные, городские, междугородные и абонентские), заходящие на территорию высоковольтной станции (подстанции), должны быть защищены по схемам рис. П6-1 и П6-2 приложения 6; также могут быть применены другие схемы и устройства, обеспечивающие защиту;

применение деревянных опор и замена железобетонных опор на деревянные (или деревянные с железобетонными приставками) в пределах усилительного участка ЛС, на котором имеются опасные сближения с ВЛ;

применение во всех случаях ограничителей акустических ударов для телефонов обслуживающего персонала ЛС;

по соглашению заинтересованных сторон введение высоковольтного режима обслуживания ЛС.

РАСЧЕТ ОПАСНОГО ВЛИЯНИЯ

2-12. Расчет продольных э. д. с. и напряжений, индуктированных в проводах ЛС, производят в случаях, указанных в п. 2-1, при этом за влияющий ток ВЛ принимают:

при однофазном коротком замыкании ВЛ — 70% от действующего значения переменной составляющей тока короткого замыкания ($I_{к.з}$), протекающего в земле на участке сближения в начальный момент;

при нормальной работе несимметричных ВЛ — ток промышленной частоты 50 *гц*, протекающий в земле на участке сближения ($I_р$).

2-13. Опасные э. д. с. и напряжения на проводах (жилах) ЛС при аварийном режиме ВЛ с заземленной нейтралью под-

считывают для наиболее неблагоприятного случая положения точек короткого замыкания, изменяя места их расположения по длине сближения.

2-14. Расчет продольной э. д. с. в жилах городских телефонных кабелей от влияния ВЛ с заземленной нейтралью проводится на длине всех участков сближения от наиболее удаленного абонента до АТС (для наиболее неблагоприятного случая).

2-15. Разрядный ток через тело человека, коснувшегося провода ЛС, подсчитывают только для случая влияния ВЛ с изолированной нейтралью при ее однофазном коротком замыкании на землю.

2-16. Обозначения, принятые в расчетных формулах:

E — продольная э. д. с., возникающая в проводах ЛС при влиянии тока однофазного короткого замыкания ВЛ, *в*;

$I_{к.з}$, $I_р$ — влияющий ток ВЛ, *а* (см. п. 2.12);

$U_л$ — линейное номинальное напряжение ВЛ, *в*;

$\omega = 2\pi f$ — угловая частота промышленного тока, *рад/сек*;

M_i — модуль коэффициента взаимоиндукции между однопроводными цепями ВЛ и ЛС при частоте промышленного тока $f=50$ *гц* на i-м участке сближения, *гн/км*;

$z_i = \omega M_i$ — модуль взаимного сопротивления между однопроводными цепями ВЛ и ЛС при частоте $f=50$ *гц*, *ом/км*;

$S_{общ}$ — общий коэффициент экранирования заземленных проводов (тросов, рельсов, оболочек кабелей и др.) при влиянии тока однофазного короткого замыкания ВЛ при $f=50$ *гц*;

$l_{общ}$ — общая длина сближения ЛС и ВЛ, *км*;

n — число участков сближения ВЛ и ЛС в пределах усилительного или городского участка ЛС;

$l_{эi}$ — длина i-го эквивалентного участка сближения ВЛ и ЛС, *км*.

2-17. Величину продольной э. д. с., индуктированной в проводах воздушных и кабельных ЛС при коротком замыкании ВЛ на землю, подсчитывают по следующей формуле:

$$E = \omega I_{к.з} \sum_{i=1}^{n} M_i S_{общ i} l_{эi}. \qquad (2\text{-}1)$$

2-18. Напряжение по отношению к земле на изолированном конце провода ЛС при замыкании на землю его другого конца, обусловленное магнитным влиянием ВЛ, работающих в несимметричном режиме, подсчитывают:

а) при влиянии ВЛ на провода воздушной ЛС любой длины или на жилы кабельной ЛС длиной не более 40 *км* по формуле

$$U = \omega I_р \sum_{i=1}^{n} M_i S_{общ i} l_{эi}, \ в; \qquad (2\text{-}2)$$

б) при влиянии ВЛ на жилы кабельной ЛС длиной более 40 *км* по формуле

$$U = \omega I_р \frac{\operatorname{ch} \gamma_A l_{ci}}{\operatorname{ch} \gamma_A l_0} \sum_{i=1}^{n} M_i S_{общ i} l_{эi}, \qquad (2\text{-}3)$$

где l_0 — общая длина гальванически неразделенного участка цепи ЛС, *км*;

γ_A — коэффициент распространения однопроводной цепи связи при частоте $f=50$ *гц*, 1/*км*;

l_{ci} — длина участка ЛС от середины i-го участка сближения до замкнутого на землю конца ЛС.

2-19. Разрядный ток через тело человека, коснувшегося провода изолированной двухпроводной цепи воздушной ЛС, подверженной электрическому влиянию ВЛ с изолированной нейтралью при замыкании одной из фаз ВЛ на землю, подсчитывают по формуле

$$i = 2{,}83 \cdot 10^{-3} U_л \sum_{i=1}^{n} \frac{l_{эi}}{m+4} \times \times \frac{bcp_i q_i}{a_{эi}^2 + b^2 + c^2}, \ ма, \qquad (2\text{-}4)$$

где m — число заземленных проводов воздушной ЛС на рассматриваемом участке сближения;

$a_{эi}$ — эквивалентная ширина сближения на i-м участке сближения, *км*;

b и c — средняя высота подвеса проводов соответственно ВЛ и ЛС над поверхностью земли, *м*;

p_i — коэффициент экранирования заземленных воздушных проводов при электрическом влиянии ВЛ (в расчетах принимается равным 0,7);

q_i — коэффициент экранирования сплошного ряда деревьев при электрическом влиянии ВЛ (в расчетах принимается равным 0,7).

2-20. Величину среднего потенциала на изолированном проводе ЛС, обусловленного электрическим влиянием ВЛ с изолированной нейтралью при замыкании фазового провода на землю, вычисляют по формуле [1]

[1] В данном случае заземленными проводами ЛС считают цепи однопроводного телеграфирования и провода цепей, имеющие гальваническую связь с землей через устройства с малым сопротивлением току частотой $f=50$ *гц*.

$$U_0 = 0{,}25U_л \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{l_{эi}}{m+2} \frac{bcp_iq_i}{a_{эi}^2 + b^2 + c^2}}{\sum_{i=1}^{n'} \frac{l_{эi}}{m+2}}. \quad (2\text{-}5)$$

Суммирование в числителе производится по всем участкам сближения, в знаменателе — по всей длине ЛС (n').

2-21. В случае защиты ЛС от опасных напряжений при помощи разрядников последние следует располагать на ЛС в таких пунктах, чтобы в самом неблагоприятном случае однофазного короткого замыкания ВЛ на землю напряжение на проводе ЛС по отношению к земле при срабатывании разрядников ни в одной точке провода не превосходило величин, указанных в п. 2-7.

Наибольшее напряжение провода ЛС по отношению к земле, которое возникает на участке ЛС между соседними пунктами установки разрядников, в случае короткого замыкания ВЛ против некоторой точки x данного участка ЛС определяют по приближенным формулам:

а) при установке на ЛС разрядников только в двух пунктах

$$U_x = \frac{E_1 l_{2x} + E_2 l_{1x}}{l_{1x} + l_{2x}}, \text{ в}; \quad (2\text{-}6)$$

б) при установке на ЛС разрядников в нескольких пунктах

$$U_x = \frac{E_1 l_{2x} + E_2 l_{1x}}{l_{1x} + l_{2x}} + \frac{1}{4}(U_1 + U_2), \text{ в}. \quad (2\text{-}7)$$

В формулах (2-6) и (2-7):

l_{1x}, l_{2x} — длины участков ЛС от точки короткого замыкания до пунктов установки разрядников, ограничивающих данный участок ЛС, *км*;

E_1, E_2 — продольные э. д. с., индуктируемые на участках l_{1x} и l_{2x}, *в*;

U_1, U_2 — наибольшие принятые для расчета напряжения на заземлениях разрядников, ограничивающих данный участок ЛС, *в*.

2-22. Величины сопротивлений заземлений разрядников, устанавливаемых на ЛС, определяются по следующим расчетным схемам:

1. Для крайних пунктов установки разрядников (первого и последнего):

при коротком замыкании фазы ВЛ на землю против первого или последнего пунктов установки разрядников и предположении, что разрядники срабатывают в первом и последнем пунктах;

при коротком замыкании ВЛ на землю против любого из промежуточных пунктов и предположении, что разрядники срабатывают в крайних и в данном промежуточном пункте.

2. Для промежуточных пунктов установки разрядников при коротком замыкании фазы ВЛ на землю против данного пункта и предположении, что разрядники срабатывают в крайних и в данном промежуточном пункте.

В расчетных схемах в качестве крайних пунктов установки разрядников принимаются пункты, расположенные на ЛС, либо против ближайшей подстанции ВЛ с заземленной нейтралью трансформаторов, либо вблизи резкого выхода ЛС из зоны влияния, т. е. по концам сближения.

В местностях, где удельное сопротивление грунтов более 500 *ом · м*, при расчете размещения разрядников может быть учтено влияние концевого эффекта токов в месте короткого замыкания.

Подробные методические указания по расчету напряжений провода ЛС относительно земли и заземления разрядников даются в приложении 7.

2-23. Величины и коэффициенты, входящие в расчетные формулы, определяются следующим образом:

а) величины влияющих токов $I_{к.з}$ и I_0 определяются расчетом и представляются владельцем ВЛ в виде графика зависимости $I = \varphi(l)$;

б) величину модуля взаимного сопротивления $z_i = \omega M_i$ или коэффициента взаимоиндукции M_i определяют по номограмме или формуле приложения 2. Значение удельного сопротивления земли определяют измерением при изысканиях трассы методом четырех электродов или по карте приложения 9;

в) при расчетах влияния ВЛ на ЛС значение коэффициента экранирующего действия рельсов железных дорог ($S_р$) в районах с удельным сопротивлением грунта $\rho_з = 10 \div 100$ *ом · м* рекомендуется принимать равным величинам, указанным в табл. 2-5.

Таблица 2-5

Расчетные значения коэффициента экранирующего действия железнодорожных рельсов

Тип железнодорожного пути	Расстояние от железнодорожного полотна до ВЛ или ЛС, *м*	
	до 50	50—100
Неэлектрифицированная однопутная железная дорога	0,9	1
То же двухпутная	0,8	0,9
Электрифицированная однопутная железная дорога	0,56	0,8
То же двухпутная	0,46	0,7

Примечание. При расстоянии между железнодорожными рельсами, ВЛ и ЛС больше 100 *м* с экранирующим эффектом рельсов не считаются.

г) значения коэффициентов экранирования тросов $S_т$, подвешиваемых на линиях электропередачи, определяют расчетом. Ориентировочно для некоторых типов тросов коэффициенты экранирующего действия можно принимать равными величинам, указанным в табл. 2-6.

Таблица 2-6

Расчетное значение коэффициента экранирующего действия тросов

Сечение тросов, *мм*²	Материал тросов	
	цветной металл	сталь
50, 70, 95	0,65	0,95
120, 150	0,55	0,90

д) величины коэффициентов экранирующего действия металлических защитных покровов (оболочка, броня, металлические экраны) кабелей, проложенных в земле, определяют по формуле

$$S_0 = K_{из} S_и, \qquad (2\text{-}8)$$

где S_0 — реальный коэффициент экранирующего действия;

$S_и$ — идеальный коэффициент экранирующего действия металлического защитного покрова, зависящий от его электрических параметров, он может быть определен расчетом по формулам, приведенным в приложении 3, а также путем непосредственного измерения;

$K_{из}$ — числовой коэффициент, учитывающий состояние изоляции оболочки и брони по отношению к земле и условия прокладки кабеля.

Для большинства применяемых на практике бронированных и голых кабелей на рис. 1-9 приведены графики значения $S_и$ в зависимости от величины индуктированной продольной э. д. с. E на единицу длины кабеля (*в/км*) и диаметра оболочек кабелей (*мм*).

Оболочки и брони кабелей с джутовым покрытием через незначительный срок эксплуатации оказываются хорошо заземленными по всей длине, коэффициент $K_{из}$ принимается равным единице, если оболочка и броня кабеля по концам усилительного участка, подверженного влиянию, будут подключены к заземлениям с сопротивлением не более 2 *ом*.

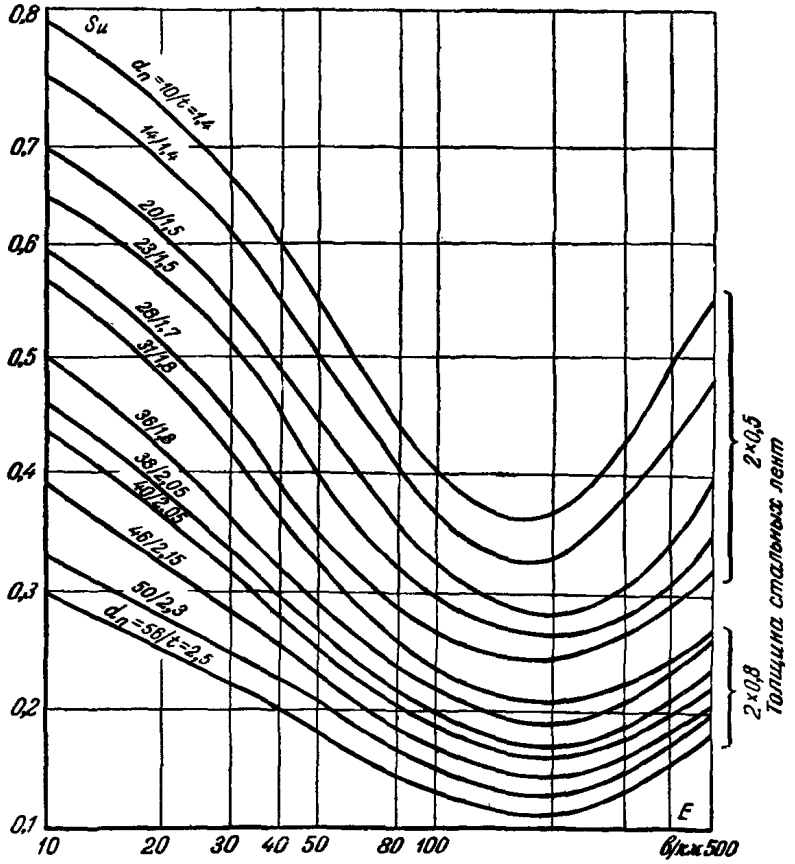


Рис. 1. График зависимости идеального коэффициента экранирующего действия $S_и$ бронированного кабеля со свинцовой оболочкой от ее толщины t (*мм*), диаметра кабеля под свинцом $d_п$ (*мм*) и напряженности электрического поля E (*в/км*).

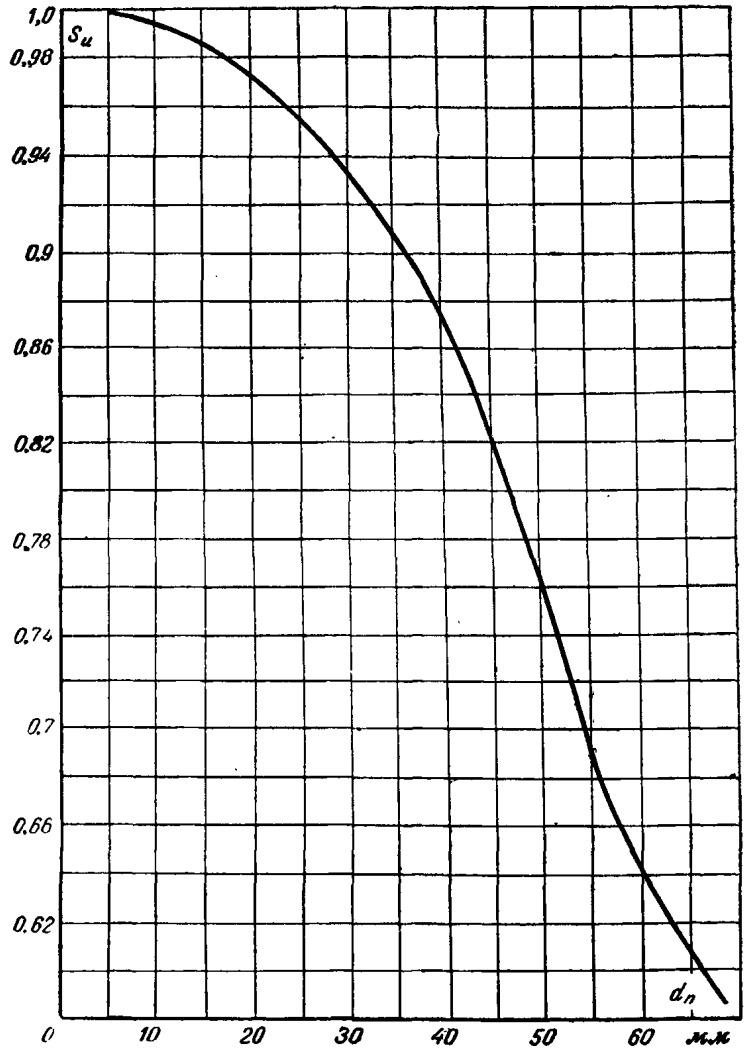


Рис. 2. График зависимости идеального коэффициента экранирующего действия $S_и$ городских кабелей связи без брони от диаметра кабеля под свинцовой оболочкой $d_п$ при $f=50$ *гц*.

Для кабелей со специальным изолирующим шлангом поверх брони (из хлорвинила или полиэтилена) коэффициент $K_{из}$ принимается равным 1,2, если оболочка и броня будут подключены к заземлениям по концам усилительного участка с сопротивлением не более 2 *ом*, а в промежуточных точках через каждые 3 *км* — к заземлениям сопротивлением не более 5 *ом*.

При других случаях расположения заземлений вдоль кабеля со специальным изолирующим покрытием и иных величинах сопротивлений заземлений $K_{из}$ должен быть определен расчетом в соответствии с приложением 3;

е) значения коэффициентов экранирования оболочек кабелей и тросов для случаев, не указанных в пп. г и д, должны быть определены непосредственно измерением или расчетом;

ж) коэффициент экранирования нескольких кабелей с металлическими оболочками, проложенных рядом в одной траншее, определяется выражением

$$S'_{общ} = S_1 \frac{R_2 + i\omega (L_2 - M_{1-2})}{z_2} \times$$

$$\times \frac{R_3 + i\omega (L_3 - M_{1-3})}{z_3} \times$$

$$\times \frac{R_i + i\omega (L_i - M_{1-i})}{z_i}, \qquad (2\text{-}9)$$

где $S'_{общ}$ — общий коэффициент экранирующего действия нескольких кабелей;

S_1 — коэффициент экранирующего действия первого кабеля;

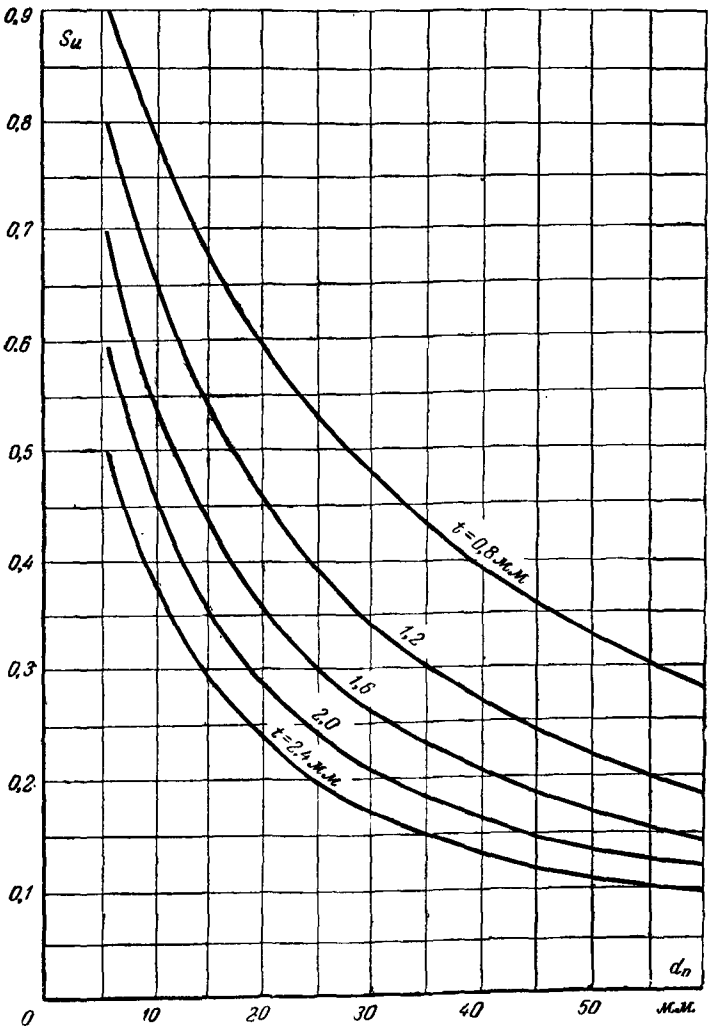


Рис. 3. График зависимости идеального коэффициента экранирующего действия Su кабелей с алюминиевой оболочкой без брони от диаметра кабеля под алюминиевой оболочкой при f=50 *гц*.

В этой конструкции кабеля значение $S_и$ не зависит от напряженности электрического поля E, *в/км*.

R_i — активное сопротивление металлических покровов i-го кабеля, *ом/км*;

L_i — самоиндукция металлических покровов i-го кабеля, *гн/км*;

M_{1-i} — коэффициент взаимоиндукции между первым и i-м кабелем, *гн/км*;

z_i — полное сопротивление металлических покровов i-го кабеля, *ом/км*.

2-24. При использовании в расчетах коэффициентов экранирования, приведенных в п. 2-23, необходимо руководствоваться следующим:

а) при наличии на ВЛ, а также между ВЛ и ЛС нескольких экранирующих проводников, влиянием которых друг на друга можно пренебречь (коэффициент взаимоиндукции для этих проводников меньше коэффициентов самоиндукции $M_{1-i} \leqslant L_i$), определяемый формулой (2-9) общий коэффициент экранирующего действия равен произведению коэффициентов экранирующего действия всех этих проводников:

$$S_{общ} = S_р S_т S_к, \qquad (2\text{-}10)$$

где $S_р$ — коэффициент экранирующего действия рельсов; $S_т$—коэффициент экранирующего действия троса; $S_к$ — коэффициент экранирующего действия оболочек кабеля; при этом коэффициент экранирующего действия оболочек кабеля ЛС определяется для продольных э. д. с., уменьшенных другими экранирующими проводниками.

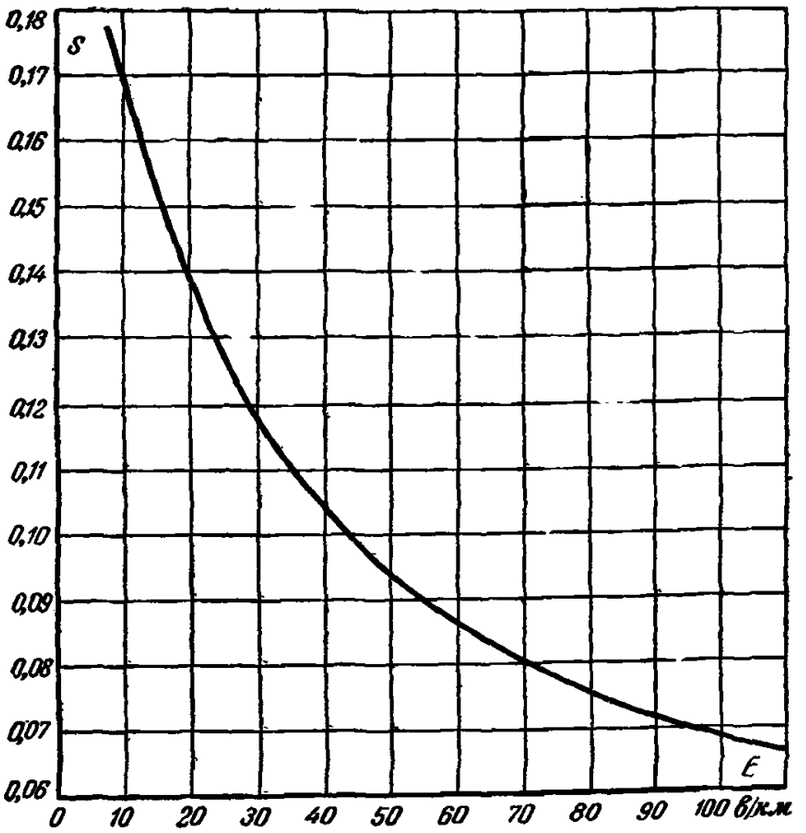


Рис. 4. График зависимости идеального коэффициента экранирующего действия оболочки кабеля марки МКБКМБ емкостью 14×4×1,2+5×0,9 от напряженности поля при f=50 *гц*.

(Защитные покровы: свинцовая оболочка $d_в$=34,5 *мм*, $d_н$=38,1 *мм*, t=1,8 *мм*; повив из 24 медных проволок d=2,2 *мм*, общая площадь сечения меди $Q_{общ}$=90,8 *мм*^{2}; две бронеленты из стали НУ 45×0,5).

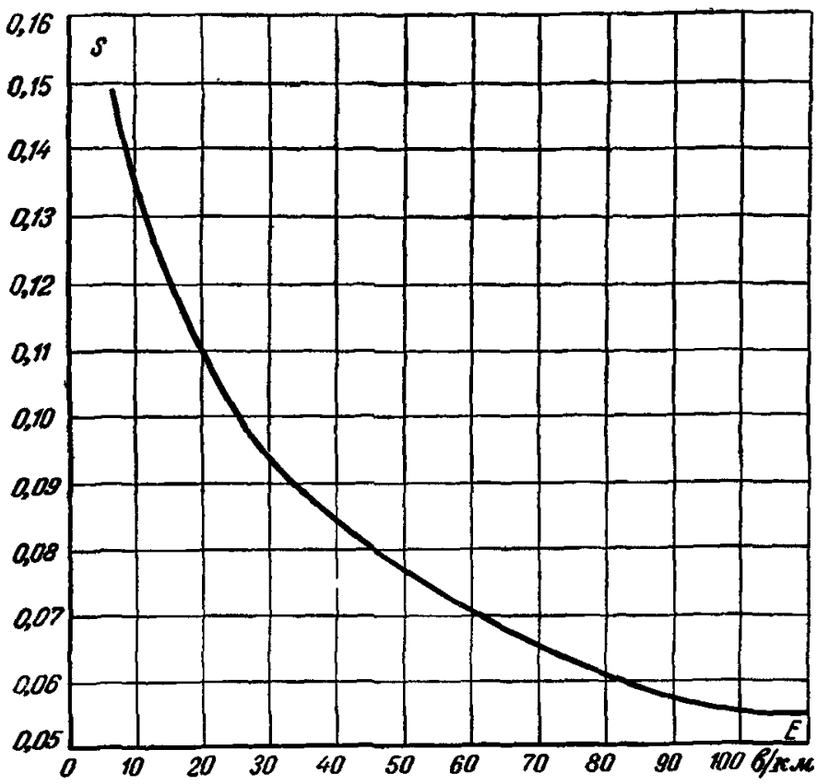


Рис. 5. График зависимости идеального коэффициента экранирующего действия оболочки кабеля марки МКБПМБ емкостью 14×4×1,2+0,5×0,9 при f=50 *гц* от напряженности поля.

(Защитные покровы: свинцовая оболочка $d_в$=31,5 *мм*, $d_н$=35,1 *мм*, t=1,8 *мм*; повив из 22 медных проволок прямоугольного сечения 4,63×0,9, общая площадь сечения меди $Q_{общ}$=91 *мм*^{2}, две бронеленты 40×0,5).

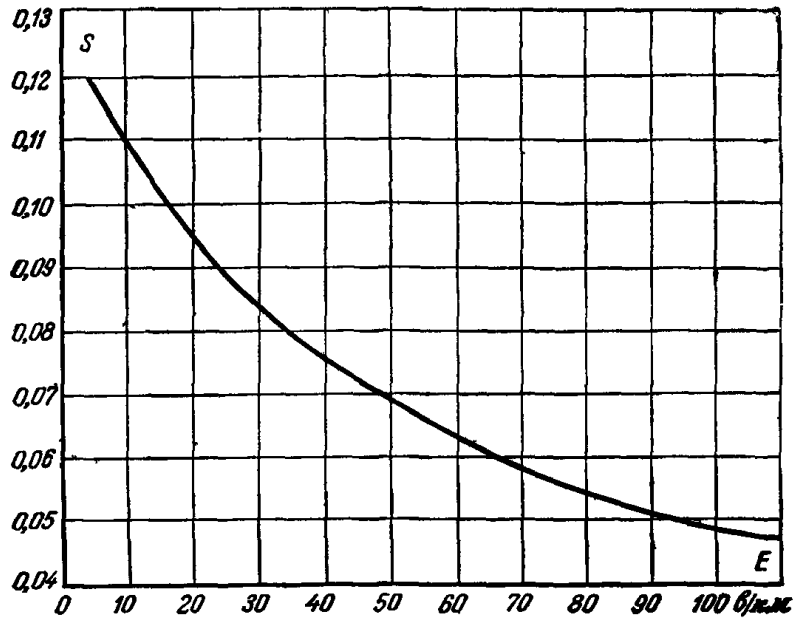


Рис. 6. График зависимости идеального коэффициента экранирующего действия оболочки кабеля марки МКПАБ емкостью 12×4×1,05+3×4×0,9+5× ×0,9 от напряженности поля при $f=50$ *гц*.

(Защитные покровы: десять медных лент 28×0,25, общая площадь сечения меди $Q_{общ}=92{,}2$ *мм*^{2}; свинцовая оболочка $d_в=28$ *мм*, $d_н=31{,}6$ *мм*, $t=1{,}8$ *мм*; две бронеленты из стали НУ 35×0,8).

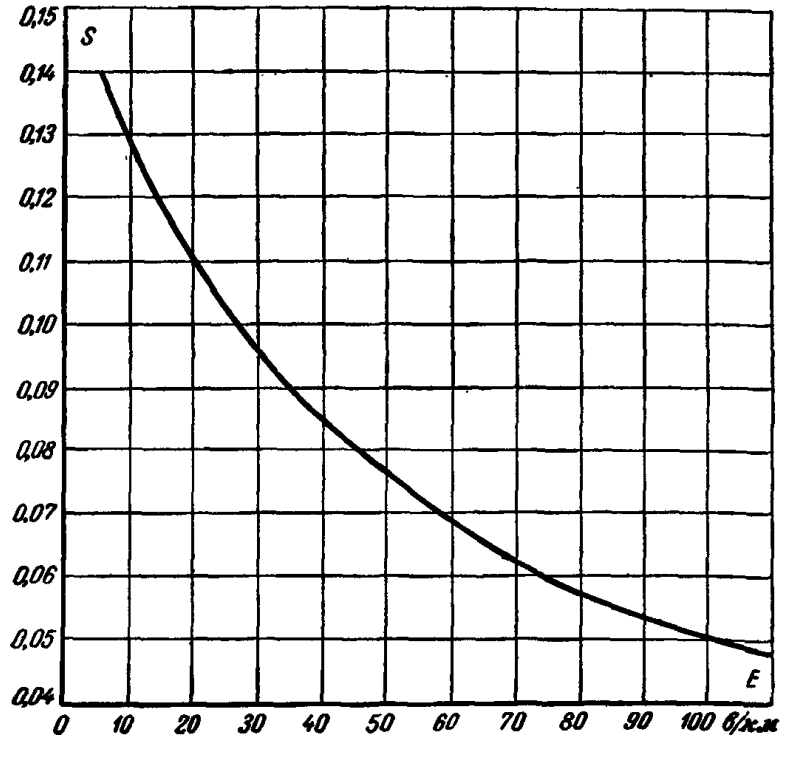


Рис. 7. График зависимости идеального коэффициента экранирующего действия оболочки кабеля марки МКПАБ емкостью 12×4×1,05+3×4×0,9+5×0,9 от напряженности поля при $f=50$ *гц*.

(Защитные покровы: алюминиевая оболочка $d_в=24{,}6$ *мм*, $d_н=28$ *мм*, $t=1{,}7$ *мм*; две бронеленты из стали НУ 35×0,8).



Рис. 8. График зависимости идеального коэффициента экранирующего действия оболочки кабеля емкостью 4×4×0,9+4×4×1,2+ +4×4×1,4 от напряженности поля при f=50 *гц*.

(Защитные покровы: свинцовая оболочка $d_в$=22,4 *мм*, $d_н$=24,8 *мм*, t= =1,7 *мм*; две бронеленты из стали НУ 40×0,8).

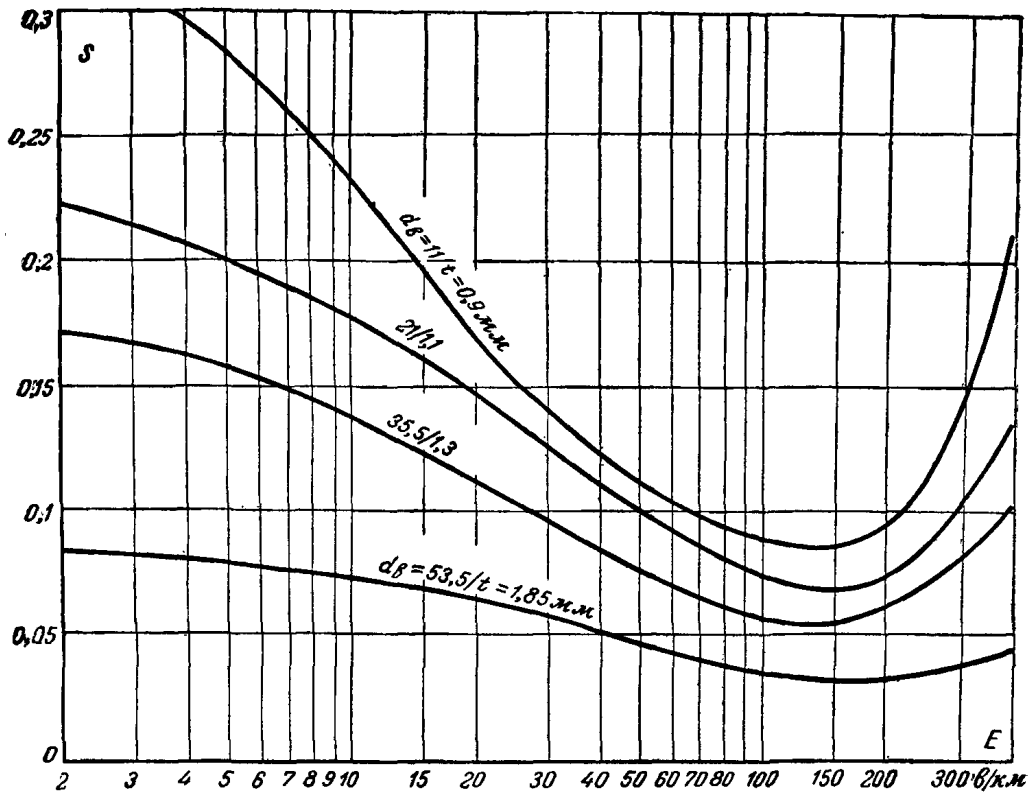


Рис. 9. График зависимости идеального коэффициента экранирующего действия кабелей с алюминиевой оболочкой и броней из двух лент стали марки НУ толщиной 0,5 *мм* при f=50 *гц*.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТНЫМ ФОРМУЛАМ ОПАСНОГО ВЛИЯНИЯ

1. Продольная э. д. с., индуктированная в проводе линии связи, рассчитывается и нормируется для случаев однополюсного короткого замыкания фазового провода на землю ВЛ. Можно считать, что переменный ток короткого замыкания частотой 50 *гц* во влияющей ВЛ не изменяется ни по амплитуде, ни по фазе.

Для бесконечно малого элемента длины провода связи dx, находящегося на расстоянии x от начала сближения (рис. П1-1), значение модуля элементарной продольной э. д. с. будет:

$$dE_x = \omega M I dx,$$

где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота влияющего тока;

$M_{(1-A)}$ — коэффициент взаимоиндукции, *гн/км*, подсчитанный для расстояния между линиями $a_{экв}$;

I — влияющий ток, *а*.

Продольная э. д. с. на проводе связи в пределах всего участка сближения $l_{общ}$:

$$E = \omega M I l_{общ} = z_{1-A} I l_{общ},$$

где z_{1-A} — модуль взаимного сопротивления между ВЛ и ЛС.

При наличии нескольких участков косого сближения продольную э. д. с. на проводе связи подсчитывают по формуле

$$E = \sum_{i=1}^{n} z_{(1-A)i} I_i l_{эi},$$

где $z_{(1-A)i}$ определяется для эквивалентной ширины сближения (см. приложение 2).

Вводя группу коэффициентов экранирования, получим расчетную формулу для продольной э. д. с.

$$E = \sum_{i=1}^{n} z_{(1-A)i} I_i l_{эi} S_{общi} \qquad (П1\text{-}1)$$

[см. формулы (2-1) и (2-2) разд. 2 настоящих Правил].

2. Как правило, длины усилительных участков телефонных цепей и трансляционных участков телеграфных цепей превышают длины влияющих участков ВЛ.

При значительных длинах концов провода связи может потребоваться проведение уточненного расчета напряжения по отношению к земле на конце провода связи при замыкании его другого конца на землю и сравнение полученной величины напряжения с нормой.

Для вывода расчетной формулы напряжения на конце провода связи следует рассматривать наиболее общий случай сближения.

На рис. П1-1 l_0 — длина провода ЛС отрезка AE; $l_{общ}$ — длина сближения ВЛ и ЛС на участке BD и l_1, l_2 — расстояния от начала и конца сближения до начала A и конца E провода связи соответственно.

Продольная э. д. с. dE_x вызывает в проводе связи ток di_x, величину кото-

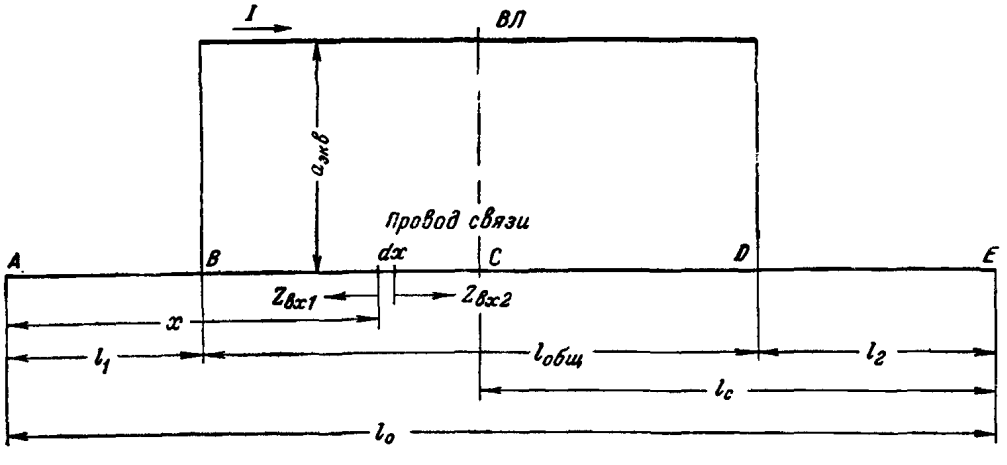


Рис. П1-1. Схема сближения для расчета индуктированной продольной э. д. с. в проводе линии связи.

рого в точке x можно выразить условием

$$di_x = \frac{dE_x}{z_{вх1} + z_{вх2}}, \qquad (П1\text{-}2)$$

где $z_{вх1}$ — входное сопротивление однопроводной цепи связи от точки в сторону точки A;

$z_{вх2}$ — то же в сторону точки E.

Условие (2) позволяет представить, что продольная э. д. с. состоит из двух слагаемых

$$dE_x = di_x z_{вх1} + di_x z_{вх2}, \qquad (П1\text{-}3)$$

где первое слагаемое есть та часть э. д. с., которая обусловливает падение напряжения на входном сопротивлении $z_{вх1}$, а второе слагаемое — падение напряжения на входном сопротивлении $z_{вх2}$.

Взяв точку x провода связи за начало, можно найти величину напряжения по отношению к земле в начале линии (точке A) при условии заземления провода в конце линии (точке E).

Используя известные из теории связи положения, определяющие зависимость между напряжениями в начале и конце цепи, напряжение в точке A получаем равным

$$dU = \frac{di_x z_{вх1}}{\operatorname{ch} \gamma_A x}, \qquad (П1\text{-}4)$$

где γ_A — постоянная распространения однопроводной цепи связи.

Входное сопротивление $z_{вх1}$ в сторону изолированного конца цепи равно

$$z_{вх1} = \frac{z_c}{\operatorname{th} \gamma_A x}, \qquad (П1\text{-}5)$$

а входное сопротивление в сторону заземленного конца цепи равно

$$z_{вх2} = z_c \operatorname{th} \gamma_A (l_0 - x), \qquad (П1\text{-}6)$$

где z_c — характеристическое сопротивление однопроводной цепи.

Подставляя в (П1-4) соответствующие значения и преобразовывая ее, получаем:

$$dU_A = \frac{i\omega MI dx}{\frac{z_c}{\operatorname{th} \gamma_A x} + z_c \operatorname{th} \gamma_A (l_0 - x)} \times$$

$$\times \frac{z_c}{\operatorname{th} \gamma_A x \operatorname{ch} \gamma_A x} =$$

$$= -\frac{i\omega MI dx}{\operatorname{ch} \gamma_A l_0} \operatorname{ch} \gamma_A (l_0 - x). \qquad (П1\text{-}7)$$

Полагая, что на протяжении всего участка влияния (участок BD) линии проходят параллельно, вычисляем напряжение U_A в виде влияния на ближнем конце провода, взяв пределы интегрирования от l_1 до $(l_1 + l_{общ})$,

$$U_A = -\frac{i\omega MI}{\operatorname{ch} \gamma_A l_0} \int_{l_1}^{l_1 + l_{общ}} \operatorname{ch} \gamma_A (l - x)\, dx =$$

$$= -\frac{i\omega MI}{\gamma_A \operatorname{ch} \gamma_A l_0} [\operatorname{ch} \gamma_A (l_0 - l_1) - \operatorname{ch} \gamma_A l_2]. \qquad (П1\text{-}8)$$

Введя в соответствии с рис. П1-1 обозначения

$$(l_0 - l_1) = l_c + \frac{l_{общ}}{2} \text{ и } l_2 = l_c - \frac{l_{общ}}{2},$$

а также опуская в (П1-8) знак минус и i, получим модуль

$$|U_A| = \frac{2\omega MI}{\gamma_A \operatorname{ch} \gamma_A l_0} \operatorname{ch} \frac{\gamma_A l_{общ}}{2} \operatorname{ch} \gamma_A l_c. \qquad (П1\text{-}9)$$

Если на участке влияния $BЛ$ имеется i участков косого сближения и на каждом i-м участке влияние обусловливается усредненным коэффициентом M, то вместо (П1-9) следует написать

$$U_A = \frac{2I\omega}{\gamma_A \operatorname{ch} \gamma_A l_0} \sum_{i=1}^{n} M_{(1-A)i} \times$$

$$\times \operatorname{ch} \frac{\gamma_A l_{эi}}{2} \operatorname{ch} \gamma_A l_{ci}. \qquad (П1\text{-}10)$$

Имея в виду, что произведение $|\omega M_{1-A}|$ можно рассматривать как модуль сопротивления, и обозначая $|\omega M_{1-A}| = |z_{1-A}|$, а также вводя в выражение (П1-10) коэффициент экранирования $S_{общ}$, будем иметь:

$$U = \frac{2I}{\gamma_A \operatorname{ch} \gamma_A l_0} \sum_{i=1}^{n} z_{(1-A)\,i} S_i \times$$

$$\times \operatorname{ch} \frac{\gamma_A l_{эi}}{2} \operatorname{ch} \gamma_A l_{ci}. \qquad (П1\text{-}11)$$

В тех случаях когда начало и конец сближения совпадают с началом и концом провода связи (l_1 и $l_2 = 0$ и $l_i = l_{общ}$), выражение (П1-8) приобретает более простой вид

$$U_A = \frac{\omega MI}{\gamma_A} \operatorname{th} \gamma_A l_{общ}. \qquad (П1\text{-}12)$$

Для воздушных линий любой длины и коротких кабельных линий (длиной не более 40 *км*) может быть принято допущение $\operatorname{th} \gamma_A l_{общ} \approx \gamma_A l_{общ}$; тогда можно записать

$$U_A = \omega MI l_{общ}; \qquad (П1\text{-}13)$$

при наличии же на участке влияния косых сближений и учете коэффициентов экранирования

$$U_A = \sum_{i=1}^{n} I\, S_{общ\,i} z_{(1-A)\,i}\, l_{эi}. \qquad (П1\text{-}14)$$

Величина U_A в этом случае численно совпадает с продольной э. д. с., рассчитанной по формуле (П1-1).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ МЕЖДУ ОДНОПРОВОДНЫМИ ЦЕПЯМИ

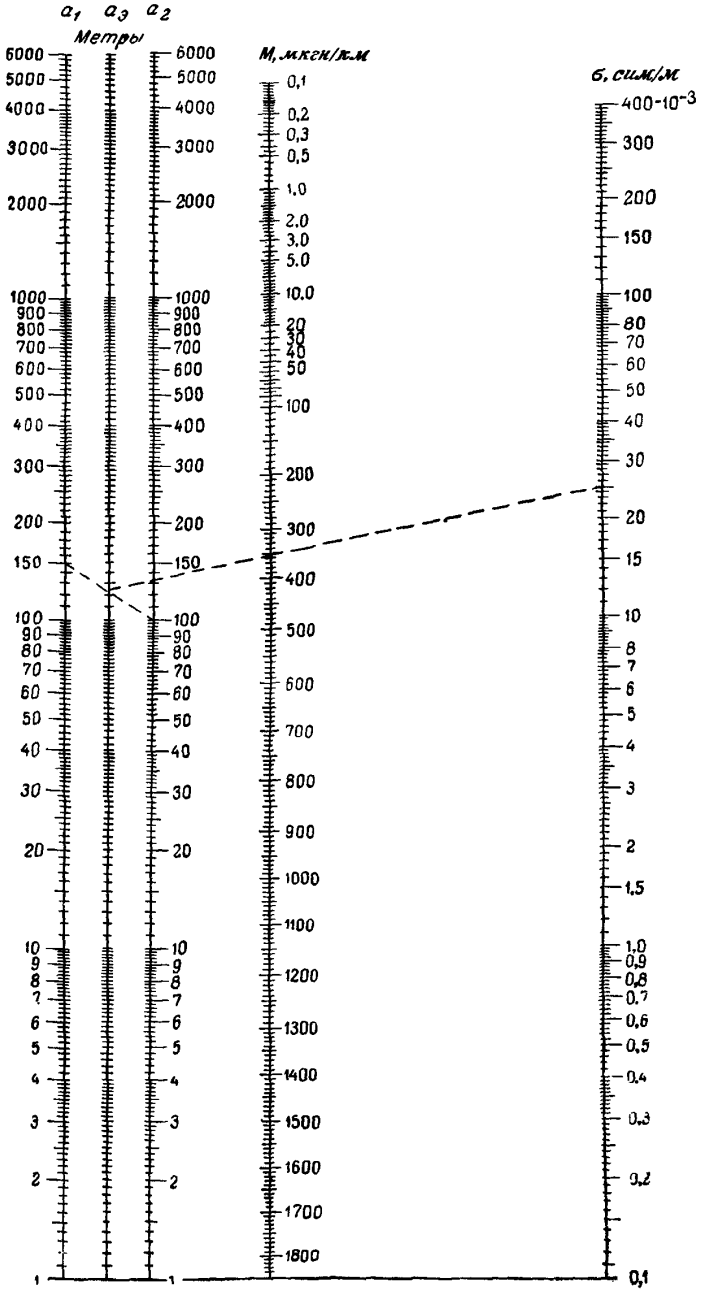


Рис. П2-1. Номограмма для определения коэффициента взаимоиндукции при $f=50$ *гц*.

Пример. Дано: $\sigma=25\cdot10^{-3}$ *сим/м*, $a_1=150$ *м*, $a_2=100$ Находим: $M=350\cdot10^{-6}$ *гн/км*.

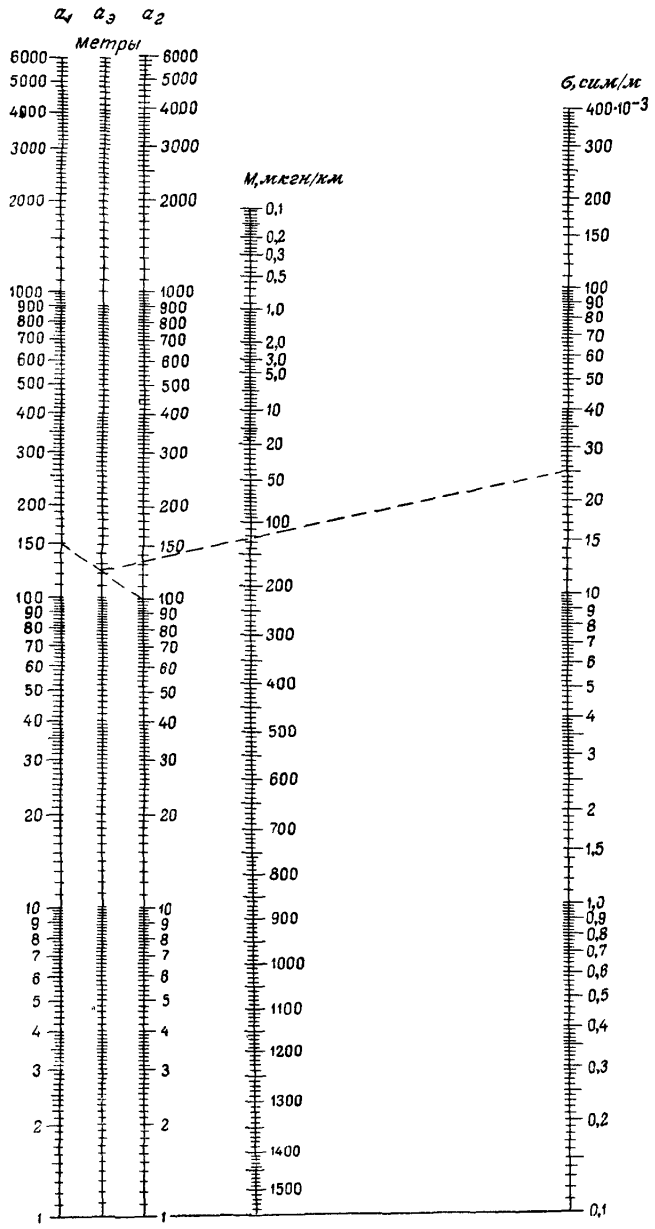


Рис. П2-2. Номограмма для определения коэффициента взаимоиндукции при $f=800$ *гц*.

Пример. Дано: $\sigma=25\cdot10^{-3}$ *сим/м*, $a_1=150$ *м*, $a_2=100$ *м*. Находим: $M=120\cdot10^{-6}$ *гн/км*.

При расчете опасного влияния коэффициент взаимоиндукции или взаимное сопротивление между однопроводными цепями определяется при частоте 50 и 800 *гц* по нижеследующим формулам или номограммам (рис. П2-1 и П2-2).

1. Определение модуля коэффициента взаимоиндукции:

$$M_{1-A} = 2\left[\ln\frac{65{,}5\sqrt{\rho}}{a_э} - i\frac{\pi}{4}\right]\cdot 10^{-4},\ гн/км.$$

2. Определение модуля взаимного сопротивления

$$z_{1-A} = \frac{1}{14}\ln\left[1+\frac{\rho}{78a_э}\right]\cdot ом/км.$$

В приведенных формулах

$a_э$ — эквивалентная ширина сближения, *м*, определяемая из выражения

$$a_э = \sqrt{a_{мин}a_{макс}} \text{ при } \frac{a_{макс}}{a_{мин}} \leqslant 3$$

и

$$a_э = \frac{a_{макс}+2a_{мин}}{3} \text{ при } \frac{a_{макс}}{a_{мин}} \leqslant 5;$$

ρ — удельное сопротивление земли, определяемое по карте проводимости земли, *ом·м* (см. приложение 9).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЗАЗЕМЛЕННЫХ ПРОВОДОВ ПРИ МАГНИТНОМ ВЛИЯНИИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ЛИНИИ СВЯЗИ

Коэффициенты экранирования металлических *оболочек* кабеля

Коэффициентом экранирования металлических оболочек называют отношение результирующей э. д. с. $E_р$, наведенной в жиле кабеля при наличии индуктированного тока в оболочке, к э. д. с. E при отсутствии этого тока

$$S = \frac{E_р}{E}. \qquad (П3\text{-}1)$$

Эта величина может быть определена по формуле [Л. 1]:

$$S = S_и + (1-S_и)\frac{1-e^{-\gamma_A l}}{\gamma_A l} = K_{из}S_и, \qquad (П3\text{-}2)$$

где S — реальный коэффициент защитного действия оболочки и брони кабеля;

$S_и$ — идеальный коэффициент экранирования оболочки и брони кабеля, зависящий только от первичных параметров самой оболочки (R_0 и L_0).

Величина $S_и$ согласно теории [Л. 1] определяется по формуле

$$S_и = \left|\frac{R_0}{R_0 + i\omega(L_{внут}+L_{внеш})}\right|, \qquad (П3\text{-}3)$$

где R_0 — активное сопротивление оболочки и брони;

$L_{внеш}$ — внешняя индуктивность оболочки и брони в цепи «оболочка — земля»;

$L_{внут}$ — внутренняя индуктивность оболочки и брони.

Величина $L_{внеш}$ для низких частот почти не зависит от тока, индуктированного в оболочке; величина $L_{внут}$ зависит от поперечных размеров кабеля (диаметра, толщины оболочки и брони), а также от тока, проходящего по оболочке и броне.

Величину $S_и$ лучше всего определять экспериментальным путем при помощи специального прибора «Измеритель коэффициента защитного действия оболочки кабеля», который дает возможность определить $S_и$ при различных значениях наведенных э. д. с. в оболочке и броне кабеля (при различных значениях тока в оболочке).

На рис. 1 приведены экспериментально полученные значения $S_и$ в зависимости от E (*в/км*) для типовых междугородных кабелей со свинцовой оболочкой и ленточной броней, которыми можно пользоваться при расчетах величин реального коэффициента экранирования.

Можно подсчитать значения $S_и$, если заранее будет известна кривая зависимости изменения коэффициента магнитной проницаемости брони кабеля от тока через оболочку и броню. Магнитная проницаемость μ стальной брони, как известно, зависит от величины индуктированного тока, проходящего по оболочке. Для существующих конструкций защитного покрова эта величина может быть определена путем непосредственных измерений $\mu=\varphi(I)$ по методике, изложенной в [Л. 2]. Кривую $\mu=\varphi(I)$ снимают при изменении тока в пределах от 0 до 30—40 *а*.

Имея в распоряжении указанную зависимость $\mu=\varphi(I)$, расчет $S_и$ производят в следующем порядке:

1. Определяют значения $L_{внут}$ в зависимости от тока I в оболочке и броне по

формуле

$$L_{внут} = \frac{4\pi n_1 t \Delta\mu}{d_{бр}} \cdot 10^{-4},\ гн/км, \quad (П3\text{-}4)$$

в которую представляют различные значения μ из кривой $\mu = \varphi(I)$ для различных величин тока.

2. Определяют значения $L_{внеш}$ по приближенной формуле

$$L_{внеш} = 2 \cdot 10^{-4} \left(\ln \frac{36\sqrt{10\rho}}{d_{бр}} \right),\ гн/км. \quad (П3\text{-}5)$$

3. Определяют результирующее сопротивление оболочки и брони R_0 постоянному току

$$R_0 = \frac{R'_0 - R_{бр}}{R'_0 + R_{бр}},\ ом/км, \quad (П3\text{-}6)$$

где R'_0 — сопротивление свинцовой или алюминиевой оболочки постоянному току, равное

$$R'_0 = \frac{4\,000\rho^*}{\pi (d_н^2 - d_в^2)},\ ом/км; \quad (П3\text{-}7)$$

$R_{бр}$ — сопротивление брони постоянному току,

$$R_{бр} = \frac{49\pi d_{бр}}{a^2 t},\ ом/км. \quad (П3\text{-}8)$$

4. Определяют $z_0 = R_0 + i\omega (L_{внут} + L_{внеш})$ для различных значений тока в оболочке и броне $z_0 = \varphi(I)$.

5. Подсчитывают величины коэффициентов защитного действия по формуле

$$S_и = \frac{R_0}{R_0 + i\omega (L_{внут} + L_{внеш})} = \frac{R_0}{z_0} \quad (П3\text{-}9)$$

(для каждого значения тока в оболочке).

6. Определяют значения продольной э. д. с. в оболочке и броне кабеля $E_0 = Iz_0$ для различных значений тока в оболочке и броне и соответствующего току полного сопротивления оболочки и брони.

7. Строят кривую $S = \varphi(E_0)$.

В приведенных формулах

$d_н$ и $d_в$ — наружный и внутренний диаметры оболочки кабеля;

$d_{бр}$ — средний диаметр брони;

a — ширина ленты брони;

t — толщина ленты брони;

n_1 — количество лент брони;

Δ — отношение ширины ленты брони к шагу наложения брони.

В формулу для реального коэффициента экранирующего действия оболочки, кроме $S_и$, входит дополнительный множитель $(1 - S_и)(1 - e^{-\gamma_0 l})/\gamma_0 l$, содержащий результирующую постоянную распространения оболочки и брони γ_0.

$$\gamma_0 = \sqrt{\frac{R_0 + i\omega L_0}{R_{пер}}}, \quad (П3\text{-}10)$$

где $R_{пер}$ — переходное сопротивление между оболочкой и землей.

Значение этого сопротивления для кабелей без изолирующего покрытия поверх брони определяется по формуле

$$R_{пер} = R_{из.д} + \frac{10^{-3}}{\pi} \rho \ln \frac{1{,}12}{\sqrt{d_{бр} h \sigma_0}}, \quad (П3\text{-}11)$$

где $R_{из.д}$ — сопротивление изолирующего слоя (джутовой оплетки), *ом/км*. Эта величина колеблется от 0,1 до 1 *ом*; в среднем для расчетов следует брать 0,3 *ом/км*;

h — глубина закопки кабеля, *м*.

Переходное сопротивление для кабелей с изолирующим покрытием поверх (хлорвиниловая оболочка) брони и заземлениями вдоль кабеля через определенные промежутки определяется по формуле

$$R_{пер} = \frac{R_з l_{ср} \sqrt{m_1 R_з}}{\sqrt{m_1 R_з} + 4{,}5\sqrt{l_{ср}}}, \quad (П3\text{-}12)$$

где $l_{ср}$ — среднее расстояние между заземлениями оболочки;

$R_з$ — сопротивление каждого заземления;

m_1 — количество заземлителей на длине усилительного участка.

При выполнении условия $\sqrt{m_1 R_з} \approx \sqrt{m_1 l_{ср}} + 4{,}5\sqrt{l_{ср}}$ можно $R_{пер}$ определить по приближенной формуле $R_{пер} \approx R_з l_{ср}$.

Расчеты и опыт показывают, что обычные бронированные кабели с джутовым покрытием при условии заземления концов кабеля на усилительном участке $R_з = 1 \div 2$ *ом* имеют реальные коэффициенты экранирующего действия по величине, близкой к идеальному коэффициенту, и поэтому при подсчетах наведенной э. д. с. в жилах таких кабелей нет необходимости вычислять дополнительный множитель

$$(1 - S_и) \frac{1 - e^{-\gamma_0 l}}{\gamma_0 l} = K_{из}, \quad (П3\text{-}13)$$

так как $K_{из}$ будет близок к единице.

В этих случаях значения S берутся из приведенных графиков $S = \varphi(E)$ для соответствующей марки кабеля.

Что касается специальных кабелей с изолирующими покрытиями поверх брони, то для идеального коэффициента экранирующего действия следует подсчитать

---

* Удельное сопротивление ρ материала оболочки кабеля в расчетах принимают:
для алюминия $\rho_а = 0{,}029$ *ом·мм²/м*;
для свинца $\rho_{св} = 0{,}21$ *ом·мм²/м*;
для стальной брони $\rho_{бр} = 0{,}12$ *ом·мм²/м*.

числовой коэффициент изоляции по формуле

$$K_{из} = (1 - S_и)\frac{1 - e^{-\gamma_0 l}}{\gamma_0 l}.$$

Для ориентировочных подсчетов можно рекомендовать принимать $K_{из}=1{,}2$, $S=1{,}2S_и$, если заземления располагать через каждые 3 *км* и если сопротивления по концам сближения будут не более 2 *ом*, а в промежуточных точках — не более 5 *ом*.

Коэффициент экранирующего действия рельсов железных дорог

Рельсы железных дорог, проложенные между влияющей линией и линией связи, являются заземленными проводами, в которых возникают индуктированные токи, уменьшающие влияние на линии связи. Расчет коэффициентов экранирующего действия рельсов $S_р$ по существу производят по тем же формулам, что и для определения коэффициента экранирующего действия оболочки и брони кабеля.

Расчеты и опыт показывают, что реальные коэффициенты экранирующего действия рельсов $S_р$ близки к идеальным $S_{р.и}$ и что величина $S_р$ для однопутной железной дороги в среднем может быть принята:

при электрифицированной железной дороге — 0,55,

при неэлектрифицированной железной дороге — 0,85.

Коэффициент экранирующего действия заземленных тросов

Коэффициенты экранирующего действия заземленных тросов с точки зрения экранирующего действия от магнитного влияния по существу ничем не отличаются от коэффициентов экранирующего действия оболочек кабелей, имеющих изолирующие покрытия поверх брони и систематически заземленных через определенные промежутки.

Ввиду того что тросы на каждой опоре ВЛ заземляются, можно с достаточной точностью реальный коэффициент экранирующего действия $S_т$ приравнять к идеальному коэффициенту экранирующего действия $S_{т.и}$.

Расчеты и опыт показывают, что коэффициенты экранирующего действия тросов при определении влияния ВЛ на цепи связи в зависимости от материалов и размеров тросов могут быть приняты следующими:

ρ, *ом·м*	При сечении троса, *мм²*								
	50		57,5	120		147	150		147
	медного	алюминиевого	сталеалюминиевого	медного	алюминиевого	сталеалюминиевого	медного	алюминиевого	стального
5—100	0,65	0,7	0,69	0,58	0,6	0,59	0,57	0,59	0,9
101—500	0,58	0,63	0,62	0,52	0,53	0,52	0,5	0,51	0,83

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПРОВЕРКА РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ ОПАСНОГО ВЛИЯНИЯ ВЛ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

С целью накопления статистических данных соответствия рассчитанных величин фактическим величинам опасного влияния, обусловленного токами однофазного короткого замыкания трехфазных ВЛ с заземленной нейтралью на ЛС, необходимо перед пуском ВЛ в эксплуатацию провести измерение величины продольной э. д. с. на единицу тока и сопоставить измеренные величины с данными ρ и M_{1-2}, принятыми в расчетах опасного влияния.

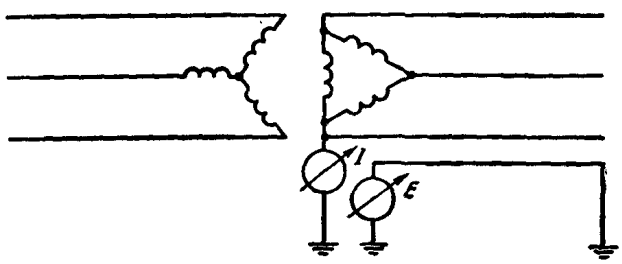


Рис. П4-1. Схема питания заземленного фазового провода от одной фазы трансформатора местных нужд напряжением 500—3 000 *в*.

Измерения проводятся назначенной комиссией из представителей соответствующих ведомств.

Удельное сопротивление грунта измеряют в трех выбранных точках по длине сближения ВЛ и ЛС методом четырех электродов при помощи прибора МС-08.

При измерении индуктированной э. д. с. на проводах связи на длине сближения при влияющем токе в петле «провод—земля» в связи с техническими трудностями проведения опыта короткого замыкания фазы на землю ВЛ следует в петле одной из фаз, по-

строенной ВЛ и землей, создать ток величиной 10—30 *а*. Для этого осуществляют схему рис. П4-1 питания заземленного фазового провода от одной фазы трансформатора местных нужд напряжением 500—3 000 *в*.

При этом на одном из проводов линии связи, идущей вдоль построенной ВЛ, вольтметром с большим внутренним сопротивлением измеряют индуктированную э. д. с. (на другом конце этот провод ЛС должен быть заземлен). Полученную величину относят к одному амперу влияющего тока

$$\frac{e}{I}=\sum_{i=1}^{n}\omega M_{(1-2)i}l_i$$

и сопоставляют с результатами подсчета, приведенного в проекте.

Если по каким-либо причинам (например, ВЛ включена в эксплуатацию) указанный опыт произвести не представляется возможным, необходимо провести проверку расчетов опытным путем на участке небольшой длины. Для этого вдоль ВЛ прокладывают изолированный провод длиной 1 *км* (однопарный или двухпарный хлорвиниловый кабель), на одном конце которого включают генератор частоты 800 *гц*, а другой конец заземляют (рис. П4-2). Параллельно опытной линии на эквивалентном расстоянии $a_{экв}$ (значение $a_{экв}$ берется из проекта) для данного сближения между ВЛ и ЛС прокладывают другой изолированный провод (можно положить такой же хлорвиниловый кабель) длиной 2 *км*. На одном конце в этот провод должен быть включен полосный фильтр на 800 *гц* и вольтметр с большим входным сопротивлением, а на другом конце провод присоединяют к заземлению. Генератор с частотой 800 *гц* берут для того, чтобы избежать в показаниях вольтметра влияния действующей ВЛ

$$E_{800}=\omega f M_{(1-2)экв\ 800}I_{800}l.$$

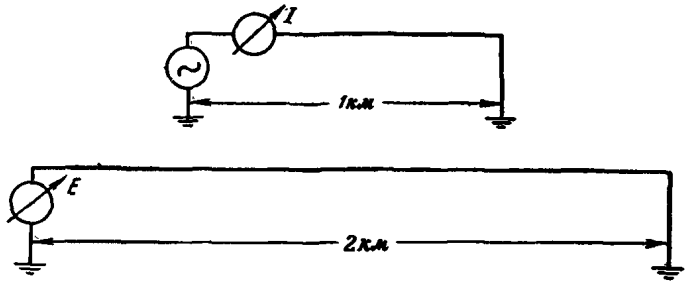


Рис. П4-2. Схема проверки расчетов путем опыта на участке небольшой длины.

Ожидаемое значение э. д. с. при влияющем токе 1 *а* и частоте 50 *гц* может быть получено из данного измерения по формуле

$$E_{50}=\frac{E_{800}\omega_{50}lM_{(1-2)экв\ 50}}{\omega_{800}I_{800}M_{(1-2)экв\ 800}}.$$

Например, если по данным измерения $E_{800}=3$ *в* $M_{(1-2)эк\ 800}=100\cdot10^{-6}$ *гн/км*, $\sigma=10\cdot10^{-3}$ *сим/м*, $a=240$ *м*, $I_{800}=0{,}2$ *а*, то

$$E_{50}=\frac{3\cdot50\cdot6\cdot28\cdot1\cdot310\cdot10^{-6}}{800\cdot6{,}28\cdot0{,}2\cdot100\cdot10^{-6}}=$$

$$=\frac{75\cdot31}{800}=2{,}9\ в.$$

Если полученное значение E_{50} помножить на длину сближения l и на ток короткого замыкания $I_{к.з}$, то общая э. д. с. будет:

$$E_{рез}=E_{изм}lI_{к.з}=2{,}9\,lI_{к.з}.$$

Сравнивая результаты расчета (приведены в проекте) с полученными при измерениях, можно судить о той или иной точности взятых в проекте исходных данных.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТАЦИИ И ИСХОДНЫХ ДАННЫХ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ИНДУКТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ВЛ НА ЛС ПРИ ИХ СБЛИЖЕНИЯХ

1. *Совмещенный план сближения ВЛ и ЛС.* План сближения составляется по топографическим картам масштаба 1 : 50 000 или 1 : 100 000. ЛС наносятся на план на основе глазомерной съемки путем привязки к местным ориентирам (дорогам, лесным просекам и т. д.).

Если ЛС не могут быть нанесены на карты на основе глазомерной съемки из-за отсутствия местных ориентиров, то производится инструментальная съемка сближения.

Инструментальная съемка сближения ЛС и ВЛ производится либо засечками угловых опор с оси трассы, либо привязкой их теодолитно-дальномерным ходом.

Зона, которую должен охватывать план сближения ВЛ и ЛС, определяется

Таблица П5-1

Трасса по участкам	Ширина зон, для которых учитывается влияние, *м*	Расчетная величина удельного сопротивления грунта ρ в районе следования трассы ВЛ по участкам, *ом·м*

Примечания: 1. Для кабельных ЛС зона съемки сокращается против данных таблицы в 2 раза.

2. Для ВЛ напряжением 35 *кв* с глухим заземлением нейтрали зона съемки линии связи принимается такой же, как для ВЛ напряжением 110 *кв*.

Таблица П5-2

Деталь плана сближения ВЛ и ЛС	Зона обязательной инструментальной съемки деталей к плану сближения ВЛ и ЛС, *м*	Расчетная величина удельного сопротивления грунта ρ района детали сближения ВЛ и ЛС, *ом·м*

Примечание. Для кабельных ЛС зона съемки сокращается против данных таблицы в 2 раза.

данными табл. П5-1, в которой должны указываться расстояния в метрах от оси трассы ВЛ.

2. Детали к совмещенному плану ВЛ и ЛС для участков тесного сближения линий ($a \leqslant 25$). Детали к планам сближения составляются в масштабе 1 : 10 000 или 1 : 2 000 путем инструментальной съемки ЛС и ВЛ.

Зона обязательной инструментальной съемки для составления деталей к плану сближения ВЛ и ЛС устанавливается данными табл. П5-2, в которой должны указываться расстояния в метрах от оси трассы ВЛ.

Геодезические работы по съемке ЛС и ВЛ призводятся в соответствии с техническими условиями, изложенными в «Инструкции по изысканиям трасс воздушных линий электропередачи 35—500 *кв*», изд-во «Энергия», 1964.

3. Сведения о ЛС включают следующие данные:

принадлежность ЛС;

направление следования ЛС (пункты захода);

класс ЛС;

профили ЛС и количество проводов;

марки проводов и кабелей;

данные об уплотнении;

данные об установленной защите от влияния (места установки и типы разрядников, заземляющие устройства и др.);

кабельные вставки и вводы.

4. Сведения о влияющих токах ВЛ при аварийных и несимметричных режимах.

5. Перечисленные сведения представляются:

а) по пп. 1 и 2 — организацией, проектирующей ВЛ или ЛС;

б) по п. 3 — организациями, эксплуатирующими существующие ЛС, и организациями, проектирующими ЛС;

в) по п. 4 — организациями, эксплуатирующими существующие ВЛ, и организациями, проектирующими ВЛ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ЗАЩИТА ТЕЛЕФОННЫХ ЛИНИЙ, ЗАХОДЯЩИХ НА ТЕРРИТОРИЮ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ПОДСТАНЦИИ), ОТ ОПАСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Во избежание тяжелых последствий во время короткого замыкания в сети ВЛ на линиях связи, заходящих на территорию силовых станций, необходимо применить такие схемы и элементы защиты, которые обеспечивали бы безопасность обслуживания указанных линий связи и не являлись источниками возникновения пожаров на телефонных станциях.

1. Цепи воздушных ЛС, заходящие на территорию станции (подстанции), с токами короткого замыкания через сопротивление заземления станции (подстанции) до 3 000 *а*, независимо от величины удельного сопротивления земли, должны быть защищены на вводе в здание станции (подстанции) в соответствии с рис. П6-1а. На другом конце телефонной цепи городской телефонной станции на кабельной опоре дополнительно к обычной схеме защиты устанавливают два разрядника типа РБ-280.

2. Цепи воздушных ЛС, заходящие на территорию станции (подстанции) с токами короткого замыкания через сопротивление заземления станции (подстанции) свыше 3 000 *а*, независимо от величины удельного сопротивления земли должны быть на станции (подстанции) защищены в соответствии с рис. П6-1б разрядниками типа РБ-280. Кроме того, разрядники этого типа устанавливают на определенном рас-

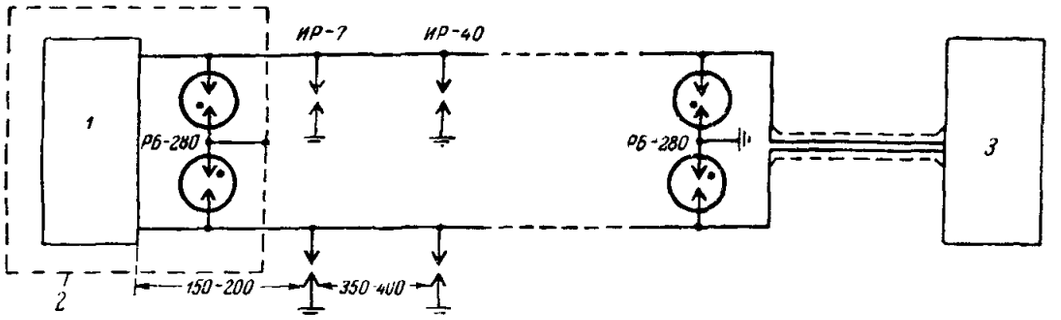


Рис. П6-1а. Принципиальная схема защиты воздушных цепей связи, заходящих на территорию станции (подстанции) с токами короткого замыкания через заземляющий контур до 3 000 *а*.

1 — помещение с телефонным оборудованием; *2* — контур заземления станции (подстанции); *3* — телефонная станция.

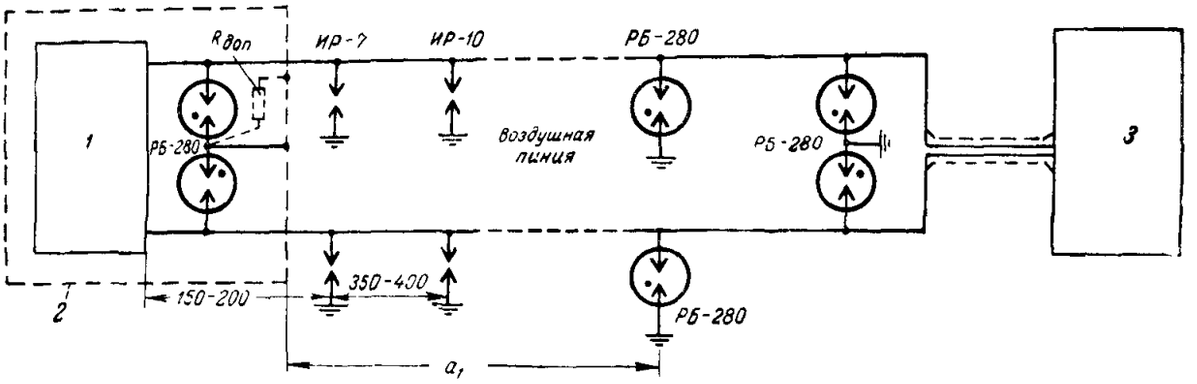


Рис. П6-1б. Принципиальная схема защиты воздушный цепей связи, заходящих на территорию станции (подстанции) с токами короткого замыкания через заземляющий контур свыше 3 000 *а*.

Обозначения те же, что и на рис. П6-1а.

стоянии a_1 от контура заземления силовой станции (подстанции) на цепи воздушной ЛС. Разрядники типа РБ-280 для станции (подстанции) устанавливают на вводной опоре (см. рис. П6-1а и П6-1б).

Выбор места установки дополнительных разрядников на цепи ЛС производится по табл. П6-1 в зависимости от величины тока короткого замыкания и удельного сопротивления земли. На другом конце воздушной ЛС, у городской станции на кабельной опоре дополнительно к основной схеме защиты устанавливают два разрядника типа РБ-280.

В некоторых случаях для ограничения тока через разрядники устанавливается

Таблица П6-1

Ток короткого замыкания $I_{к.з}$, *а*	ρ=10 *ом·м*			ρ=100 *ом·м*			ρ=1 000 *ом·м*		
	Расстояние до дополнительного разрядника a_1, *м*	Сопротивление заземления разрядника *R*, *ом*	Дополнительное сопротивление $R_{доп}$, *ом*	Расстояние до дополнительного разрядника a_1, *м*	Сопротивление заземления разрядника *R*, *ом*	Дополнительное сопротивление $R_{доп}$, *ом*	Расстояние до дополнительного разрядника a_1, *м*	Сопротивление заземления разрядника *R*, *ом*	Дополнительное сопротивление $R_{доп}$, *ом*
Медная цепь $d=4$ *мм*									
3 000	100	4,0	—	500	12	—	2 000	13,3	—
5 000	1 000	4,0	5,0	2 000	12	5	3 000	13,9	5
10 000	4 000	2,9	2,5	6 000	4	3	6 000	7,5	9
Стальная цепь $d=4$ *мм*									
3 000	100	4,0	—	500	12	—	2 000	4,7	—
5 000	500	4,0	—	2 000	12	—	2 000	—	—
10 000	2 000	4,0	—	3 000	6	—	—	—	—

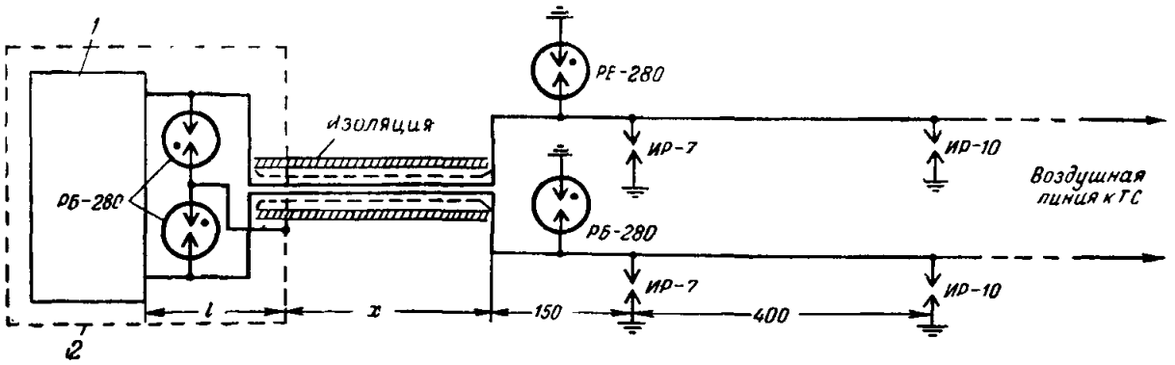


Рис. П6-2 Принципиальная схема защиты кабельных цепей связи, заходящих на территорию станции (подстанции).

1 — помещение с телефонным оборудованием; *2* — контур заземления станции (подстанции).

дополнительное сопротивление $R_{доп}$ (рис. П6-1б).

Если по условиям работы телефонного оборудования, расположенного на территории станции (подстанции), в схеме должна быть «земля», то в качестве последней используется контур заземления подстанции. При этом в оборудовании связи сохраняется защита в соответствии с действующим ГОСТ.

3. Цепи кабельных ЛС, заходящие на территорию станции (подстанции), защищаются в соответствии со схемой рис. П6-2. Вводный кабель должен иметь изолирующую оболочку, обеспечивающую полную изоляцию брони и свинцовой оболочки от земли на территории станции (подстанции). Длина вводного кабеля определяется в соответствии с табл. П6-2. Разрядники типа РБ-280 устанавливаются на станции (подстанции) в помещении кросса.

Таблица П6-2

Ток короткого замыкания $I_{к,з}$, *а*	Длина *x* вводного участка кабеля, *м*, плюс длина *l* территории подстанции при удельном сопротивлении земли (рис. П6-2)					
	ρ=10 *ом·м*		ρ=100 *ом·м*		ρ=1 000 *ом·м*	
	и испытательном напряжении изоляции жил кабеля по отношению к земле, *в*					
	1 800	500	1 800	500	1 800	500
3 000	0	0	*l*+50	*l*+200	*l*+100	*l*+1 000
5 000	0	*l*+80	*l*+200	*l*+300	*l*+2 100	*l*+3 000
10 000	0	*l*+210	*l*+430	*l*+1 000	*l*+3 100	*l*+6 300
30 000	*l*+160	*l*+400	*l*+1 000	*l*+2 100	*l*+5 600	*l*+16 000

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

ЗАЩИТА ЛИНИЙ СВЯЗИ ПРИ ПОМОЩИ РАЗРЯДНИКОВ

Расчет размещения разрядников на ЛС

При замыкании на землю фазового провода ВЛ с заземленной нейтралью в линии электропередачи возникают влияющие токи нулевой последовательности. В зависимости от схемы высоковольтной сети влияющие токи в ВЛ могут появиться с одной или с двух сторон от места замыкания, причем в последнем случае эти токи будут иметь противоположные направления. В дальнейшем ради общности выводов принимается, что влияющие токи I_{1x} и I_{2x} возникают с обеих сторон от точки *x* замыкания ВЛ на землю и имеют противоположное направление (рис. П7-1).

Если в зоне влияния ВЛ расположена ЛС, то влияющие токи I_{1x} и I_{2x} индуктируют в проводах ЛС продольные э. д. с. E_{1x} и E_{2x}. В зависимости от места замыкания на землю ВЛ их величины будут меняться, что обусловлено изменением токов I_{1x} и I_{2x}, длиной и характером сближения ВЛ и ЛС на участках: начало сближения — точка *x* — конец сближения.

При превышении хотя бы одним значением E_{1x} или E_{2x} допускаемых Правилами величин на каждом проводе ЛС с обеих сторон сближения должны быть установлены специальные разрядники. Разрядники устанавливают по концам сближения, желательно, в пунктах, удобных по условиям эксплуатации (пункты ввода цепей связи, кабельные опоры и др.). После этого следует проверить достаточность установленных разрядников. Для этого определяют величины напряжений U_x различных точек *x* провода ЛС отно-

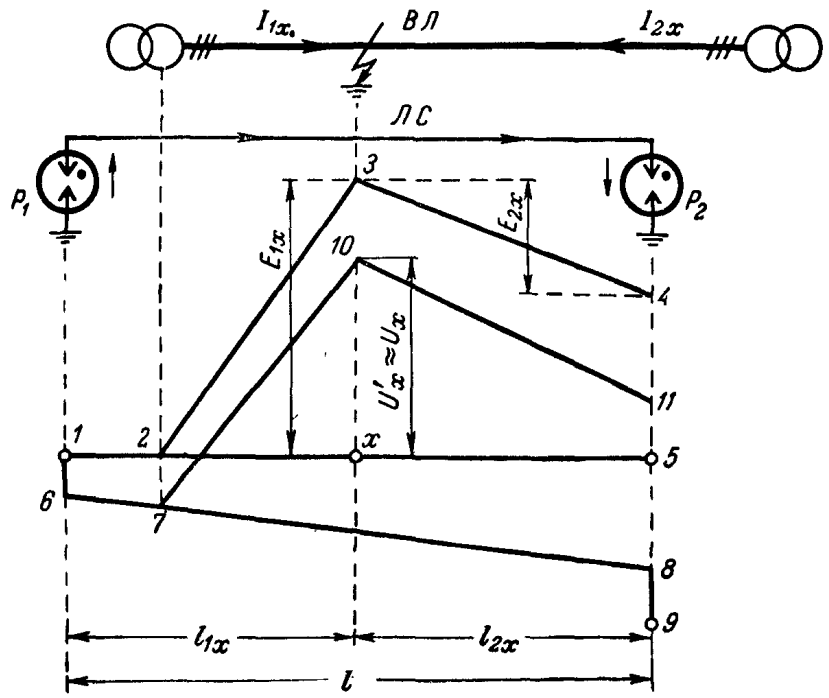


Рис. П7-1. Диаграмма распределения индуктированного напряжения по отношению к земле вдоль провода ЛС при срабатывании разрядников P_1 и P_2, установленных по концам сближения разрядников.

сительно земли, которые могут возникнуть на ЛС при замыкании фазового провода ВЛ на землю и срабатывании установленных по концам сближения разрядников.

Величины напряжения U_x определяются из диаграммы распределения индуктированного напряжения по отношению к земле вдоль провода ЛС при срабатывании установленных по концам сближения разрядников P_1 и P_2.

На диаграмме рис. П7-1:

I_{1x} и I_{2x} — влияющие токи при коротком замыкании против точки x;

1—2—3—4 — точки графика индуктированных э. д. с.; для общности выводов принято, что на участке *1—2* ЛС расположена вне зоны влияния, а на участке *2—5* — в зоне влияния причем сближение может быть произвольным;

1—6—8—9 — точки графика падений напряжений в проводе ЛС и на заземлениях разрядников P_1 и P_2;

6—7—10—11 — точки графика напряжений провода ЛС относительно земли (отрезок *4—5* равен отрезку *5—9*, отрезок *4—11* равен отрезку *5—8*);

1—6 и *8—9* — точки падения напряжений U_{P_1x} и U_{P_2x} на заземлениях разрядников P_1 и P_2 при замыкании провода ВЛ на землю против точки x.

Напряжение U'_x провода ЛС относительно земли в точке x, лежащей против места короткого замыкания ВЛ на землю, будет равно:

$$U'_x = E_{1x} - \frac{E_{1x} - E_{2x} - U_{P_1x} - U_{P_2x}}{z\,(l_{1x} + l_{2x})}\,zl_{1x} - U_{P_1x} = \frac{E_{1x}l_{2x} + E_{2x}l_{1x}}{l} + \frac{U_{P_2x}l_{1x} - U_{P_1x}l_{2x}}{l},$$

где z — полное сопротивление петли «провод ЛС — земля» на 1 *км*; расчет полного сопротивления приведен ниже.

Подсчитанная величина U'_x приближенно равна наибольшему напряжению провода ЛС относительно земли, которое возможно при коротком замыкании ВЛ против точки x. Это наибольшее напряжение обозначим U_x.

Учитывая, что сопротивления разрядников P_1 и P_2 приблизительно одинаковы и, следовательно, $U_{P_1x} \approx U_{P_2x} \approx U_{P_x}$, получаем:

$$U_x = \frac{E_{1x}l_{2x} + E_{2x}l_{1x}}{l} + U_{P_x}\frac{l_{1x} - l_{2x}}{l} = U_{0x} + U_{3x},$$

где U_{0x} — напряжение провода связи по отношению к земле без учета падения напряжения на заземлении разрядников; оно равно

$$U_{0x} = \frac{E_{1x}l_{2x} + E_{2x}l_{1x}}{l};$$

$U_{зx}$ — падение напряжения на заземлении разрядников, равное

$$U_{зx} = U_{P_x} \frac{l_{1x} - l_{2x}}{l}.$$

В этом выражении напряжение $U_{зx}$ обусловлено сопротивлением заземления разрядников, а первое — U_{0x} — не зависит от него.

Для расчета представляет интерес наибольшее значение U_x, которое обычно достигается, когда точка x берется вблизи середины участка ЛС между разрядниками, т. е. при $l_{1x} \approx l_{2x} \approx 0{,}5l$, $U_{зx} \approx 0$. Окончательно можно написать, что

$$U_x \approx \frac{E_{1x} l_{2x} + E_{2x} l_{1x}}{l} = U_{0x}. \quad (П7\text{-}1)$$

При превышении хотя бы одним значением U_x допускаемых настоящими Правилами величин между разрядниками P_1 и P_2 должны быть установлены дополнительные разрядники для уменьшения недопустимых напряжений. Места установки и количество дополнительных разрядников должны быть выбраны таким образом, чтобы величины напряжений U_x провода ЛС относительно земли во всех точках при замыкании провода ВЛ на землю не превышали допустимых величин.

Рассмотрим случай, когда разрядники установлены в нескольких пунктах. Если на ЛС имеется только два пункта установки разрядников, то согласно предыдущим выводам можно считать, что напряжение U_x не зависит от сопротивления заземлений разрядников (П7-1). Это обусловлено тем, что направление токов в разрядниках P_1 и P_2 противоположно (см. рис. П7-1).

Когда на ЛС имеется несколько пунктов установки разрядников (более двух) (рис. П7-2), то при замыкании провода ВЛ на землю против некоторой точки x на участке между разрядниками P_k и P_{k+1} в ЛС на участках «P_1 — точка x» и «P_n — точка x» индуктируются продольные э. д. с. E_{1x} и E_{2x} встречного направления, под действием которых сработают по крайней мере четыре разрядника: P_1, P_k, P_{k+1} и P_n.

Диаграмма распределения напряжения относительно земли вдоль ЛС для этого случая представлена на рис. П7-2,

где *1—2—3—4—5* — точки графика напряжений провода ЛС относительно земли;

6—2 и *7—4* — точки падения напряжений U_{kx} и $U_{(k+1)x}$ на заземлении разрядников P_k и P_{k+1} при замыкании провода ВЛ на землю против точки x.

Как следует из рис. П7-2, направление токов в смежных сработавших разрядниках P_k и P_{k+1} будет одинаковым и это обусловит подъем напряжения U_x за счет падения напряжения в заземлениях этих разрядников.

Возможны более легкие случаи, когда и при нескольких пунктах установки разрядников направление токов в смежных сработавших разрядниках будет противоположным. При некоторой схеме сближения и соотношении влияющих токов I_{1x} и I_{2x} это может иметь место, например, для крайних участков между разрядниками (участки P_1—P_2 и P_{n-1}—P_n на рис. П7-2). Однако для учета таких случаев требуется отдельный точный анализ каждого сближения, что не имеет смысла ввиду разброса характеристик разрядников и приближенности исходных данных. Поэтому в дальнейшем принимаем, что при установке на ЛС нескольких пунктов установки разрядников направление токов в смежных сработавших разрядниках P_k и P_{k+1} будет одинаковым, как изображено на рис. П7-2. Это даст некоторое увеличение надежности защиты.

Из диаграммы рис. П7-2 следует, что наибольшее напряжение U_x провода ЛС на участке между пунктами установки разрядников P_k и P_{k+1} при замыкании провода ВЛ на землю против точки x при-

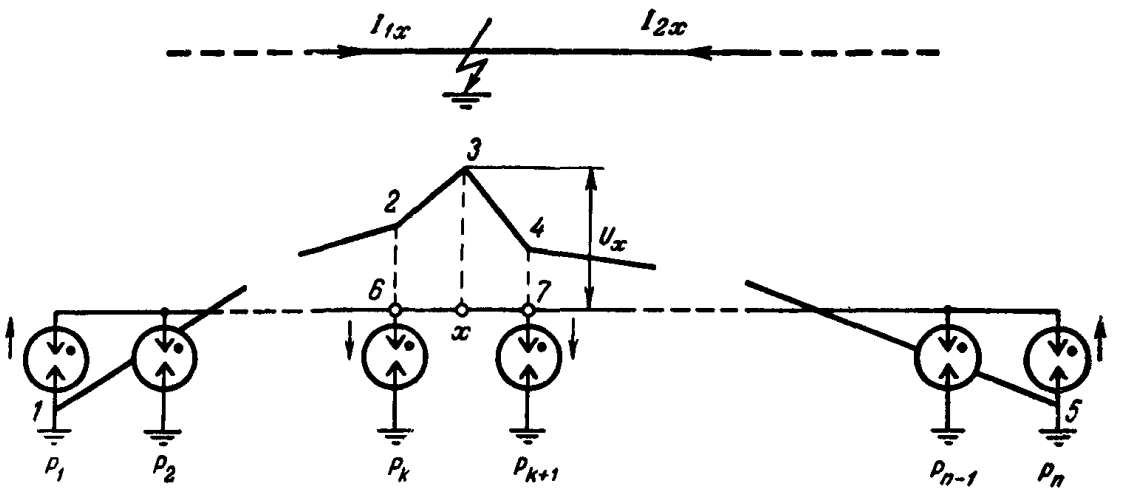


Рис. П7-2. Диаграмма распределения индуктированного напряжения по отношению к земле вдоль провода ЛС при замыкании провода ВЛ на землю против точки x.

ближенно может быть определено из выражения

$$U_x \approx \frac{E_{1x}l_{2x} + E_{2x}l_{1x}}{l} + \frac{1}{2}(U_{kx} + U_{(k+1)x}).$$

Наибольшие возможные напряжения на заземлениях разрядников P_k и P_{k+1} обозначим через U_k и U_{k+1}; эти напряжения обычно имеют место, когда x берется соответственно против разрядников P_k и P_{k+1}.

Так как напряжения U_{kx} и $U_{(k+1)x}$ приблизительно пропорциональны влияющим токам I_{1x} и I_{2x}, а напряжения U_k и U_{k+1} — суммарному току $(I_{1x}+I_{2x})$, когда x берется соответственно против разрядников P_k и P_{k+1}, то приближенно можно принять, что

$$U_{kx} + U_{(k+1)x} \approx \frac{1}{2}(U_k + U_{k+1}).$$

Тогда

$$U_x \approx \frac{E_{1x}l_{2x} + E_{2x}l_{1x}}{l} + \frac{1}{4}(U_k + U_{k+1}) = U_{0x} + U_{3x}, \quad (\text{П7-2})$$

где

$$U_{0x} = \frac{E_{1x}l_{2x} + E_{2x}l_{1x}}{l};$$

$$U_{3x} = \frac{1}{4}(U_k + U_{k+1}).$$

Из формул (П7-1) и (П7-2) следует, что при наличии на ЛС только двух пунктов установки разрядников напряжение провода ЛС U_x не зависит от величин сопротивления заземления разрядников, а при наличии нескольких пунктов установки разрядников (более двух) это напряжение распадается на два слагаемых U_{0x} и U_{3x}, из которых второе определяется величиной заземлений разрядников, ограничивающих данный участок ЛС, и не зависит от положения точки x. Этот вывод следует рассматривать как приближенный, так как он действителен при допущениях и упрощениях, принятых при выводе формул (П7-1) и (П7-2).

Для выполнения требований настоящих Правил необходимо, чтобы для любой точки x соблюдалось условие

$$U_x \leqslant U_{\text{доп}},$$

где $U_{\text{доп}}$ — допускаемое напряжение провода ЛС относительно земли при защите его разрядниками.

В дальнейшем величины, относящиеся к точке, в которой U_x имеет наибольшее значение, будем обозначать без индекса x. Тогда для указанной точки получим:

$$U_0 = \frac{E_1l_2 + E_2l_1}{l}$$

и

$$U = U_0 + U_3 \leqslant U_{\text{доп}}. \quad (\text{П7-3})$$

Из формулы (П7-3) следует, что можно варьировать величинами U_0 и U_3 с таким расчетом, чтобы для условий данного сближения выбрать оптимальные соотношения между этими величинами. Например, можно увеличить U_0, т. е. установить разрядники реже, но при этом уменьшится U_3, т. е. заземления будут трудновыполнимыми и дорогостоящими; наоборот, для некоторых сближений целесообразно увеличить U_3 в целях удешевления заземлений, но при этом уменьшится U_0, т. е. количество пунктов установки разрядников возрастет.

Места установки разрядников на ЛС определяют следующим образом. Сначала на основании пробных расчетов и общих соображений намечают предварительное размещение пунктов установки разрядников на ЛС и задаются величинами падения напряжений на заземлениях разрядников U_1, U_2, ..., U_k, ..., U_n (их предельные значения указаны в табл. 2-4 настоящих Правил). Для установки разрядников в первую очередь выбирают пункты, удобные по условиям эксплуатации (пункты ввода цепей связи, кабельные опоры, опоры, удобные для обслуживания).

После предварительного размещения пунктов установки разрядников и выбора величин U_1, U_2, ..., U_k, ..., U_n производят проверку напряжений для каждого из участков между смежными разрядниками по формуле

$$U_0 \leqslant U_{\text{доп}} - U_3,$$

где

$$U_0 = \frac{E_1l_2 + E_2l_1}{l},$$

а

$$U_3 = \frac{1}{4}(U_k + U_{k+1})$$

и в зависимости от результатов устанавливают дополнительные разрядники или снимают предварительно намеченные.

При большом количестве пунктов установки разрядников на ЛС для предварительного выбора мест их установки можно воспользоваться приближенной формулой

$$l = \frac{4U_0}{\omega(M_{1-2}I)_{\text{ср}}}, \quad (\text{П7-4})$$

где l — расстояние между смежными разрядниками, *км*;

I — сумма влияющих токов в месте замыкания ВЛ на землю, *а*;

$(\omega M_{1-2}I)_{\text{ср}}$ — произведение средних значений ωM_{1-2} и I на длине l.

Если, например, для воздушной линии связи на деревянных опорах при влиянии ВЛ со временем отключения основной защиты свыше 0,6 *сек* принято $U_k=250$ *в* (согласно табл. 2-4 U_k не должно превышать 500 *в*), то $U_з=125$ *в*, $U_0 \leqslant U_{доп}-U_з=500-125=375$ *в* и формула (П7-4) будет иметь вид

$$l=\frac{1\,500}{(\omega M_{1-2}I)_{ср}}.$$

Формула (П7-4) получается из выражения

$$U_0=\frac{E_{1x}l_2+E_{2x}l_1}{l},$$

если данный отрезок сближения l, состоящий из n отдельных участков, заменить эквивалентным параллельным сближением, для которого

$$\frac{\sum_{i=1}^{n}\omega M_{(1-2)i}l_i}{l}=\omega M_{(1-2)ср}.$$

Действительно, в этом случае

$$U_0=\frac{I_1\omega M_{(1-2)ср}l_1l_2+I_2\omega M_{(1-2)ср}l_2l_1}{l}=$$

$$=\omega M_{(1-2)ср}(I_1+I_2)\frac{l_1l_2}{l}=$$

$$=\omega M_{(1-2)ср}I\frac{l_1l_2}{l},$$

где $I=I_1+I_2$ — суммарный влияющий ток.

Обозначим через $I_н$ влияющий ток в начале участка и $kI_н$ — изменение влияющего тока на единицу длины участка l.

Примем приближенно, что суммарный влияющий ток I меняется на участке l линейно. Тогда, если $I_н$ и $I_к$ — суммарные влияющие токи соответственно в начале и конце участка l, то

$$U_0=\omega M_{1-2ср}(I_н+l_1kI_н)\frac{l_1l_2}{l}=$$

$$=\omega M_{1-2ср}I_н(1+l_1k)\frac{l_1l_2}{l}, \quad (П7\text{-}5)$$

где $k=\frac{I_к-I_н}{I_нl}$ — величина постоянная.

Наибольшее значение U_0 на участке l будет при

$$l_1=\frac{(kl-1)+\sqrt{(kl-1)^2+3kl}}{3kl}. \quad (П7\text{-}6)$$

Приближенно можно положить величину суммарного влияющего тока на участке постоянной и равной среднему значению $I_{ср}$. Тогда наибольшее значение U_0 будет при $l_1=\frac{l}{2}=l_2$ и составит:

$$U_0=\frac{(\omega M_{1-2}I)_{ср}l}{4}. \quad (П7\text{-}7)$$

Расчеты показывают, что даже при весьма резком изменении влияющего тока (возрастание или убывание тока на длине l в 2 раза) ошибка при вычислении по формуле (П7-7) лежит в пределах 5% по сравнению с расчетом по более точным формулам (П7-5) и (П7-6).

Исходя из (П7-4), для предварительных расчетов могут быть определены:

$$P=\frac{1}{l}=\frac{(\omega M_{1-2}I)_{ср}}{4U_0}$$

P — число разрядников, необходимых для защиты 1 *км* сближения (не считая первого разрядника);

$$P_k=\frac{(\omega M_{1-2}I)_{ср}}{4U_0}l_k$$

P_k — число разрядников, необходимых для защиты данного участка сближения длиной l_k (не считая первого разрядника), $(\omega M_{1-2}I)_{ср}$ берется средним в пределах l_k;

$$P_{общ}=1+\sum_{k=1}^{k=n}p_k$$

$P_{общ}$ — полное число разрядников, необходимых для защиты всего сближения, состоящего из n участков.

Расчет заземлений разрядников

Как следует из формулы (П7-1), при установке на ЛС разрядников только в двух пунктах напряжение провода ЛС относительно земли U не зависит от величины сопротивления заземлений разрядников. Поэтому для случая двух пунктов установки разрядников величины заземлений разрядников определяются по допускаемому падению напряжения на заземлениях при коротком замыкании на землю против первого и второго разрядников (табл. 2-4 настоящих Правил).

При установке на ЛС разрядников в нескольких пунктах (более двух) для расчета заземлений необходимо задаться условиями срабатывания разрядников. Предполагаем, что характеристики разрядников, установленных на линии связи, идентичны. При этом условии первыми должны срабатывать разрядники, попадающие под более высокое напряжение относительно земли, и расчетным случаем для определения величин заземления разрядников будет короткое замыкание ВЛ на землю против пунктов установки разрядников.

При коротком замыкании ВЛ против одного из крайних разрядников наиболее вероятно срабатывание разрядников в обоих крайних пунктах, при коротком замыкании против промежуточного пункта между разрядниками — в данном промежуточном пункте и в обоих крайних.

Начальным и конечным пунктами в расчетной схеме следует считать пункты установки разрядников на линии либо

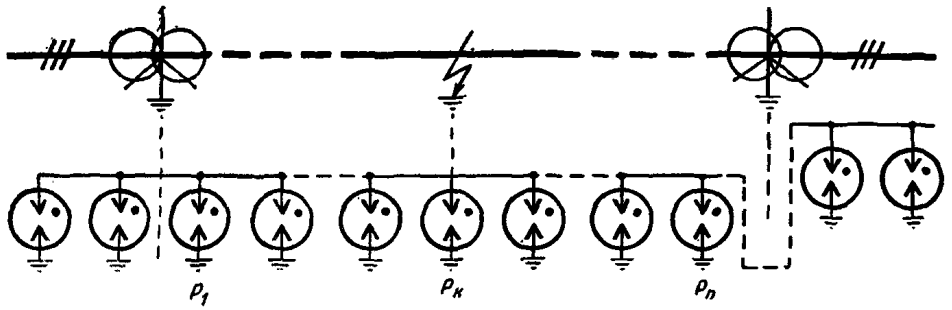


Рис. П7-3. Схема сближения ЛС с ВЛ.

вблизи подстанции с заземленными нейтралями трансформаторов, либо вблизи резкого выхода линии связи из зоны влияния, т. е. в концах сближения (рис. П7-3).

Для расчета заземлений разрядников необходимо уточнить напряжения U_1, $U_к$ и U_n, которые могут быть допущены на заземлениях каждого из рассматриваемых разрядников. Эти напряжения были предварительно приняты для расчета величин U_0 при размещении разрядников на ЛС. Уточнение их может оказаться целесообразным в тех случаях, когда полученные величины U_0 дают возможность некоторого повышения напряжений на заземлениях (при условии, что общее напряжение провода ЛС относительно земли не превысит $U_{доп}$). Уточнение напряжений производится для каждого участка линии между пунктами с разрядниками P_k и P_{k+1} по формулам

$$U_з \leqslant U_{доп} - U_0$$

и

$$U_k + U_{k+1} = 4U_з, \qquad (П7\text{-}7а)$$

где $U_з$ — напряжение на заземлении разрядника;

U_k и U_{k+1} — наибольшие напряжения, которые могут быть допущены на данных смежных пунктах с разрядниками P_k и P_{k+1}, с учетом полученной для каждого участка линии величины U_0.

Уточненные значения напряжений на заземлениях считаются принятыми для расчетов и в дальнейшем обозначают через $\overline{U}_1, \ldots, \overline{U}_k, \ldots, \overline{U}_n$.

После этого переходят непосредственно к расчету заземлений. Сначала определяют сопротивления заземлений для крайних пунктов установки разрядников. Для этого рассматривают случаи замыкания ВЛ на землю против каждого из пунктов установки разрядников, причем в соответствии с указанным выше при коротком замыкании у пунктов с разрядниками P_1 или P_n работающими принимаются разрядники в пунктах P_1 и P_n, а при коротком замыкании у промежуточного пункта P_k — в пунктах P_1, P_k и P_n. Сопротивления заземлений разрядников в начальном и конечном пунктах определяются из следующих уравнений:

1. Замыкание провода ВЛ на землю против начального пункта (рис. П7-4).

$$E_2 = \overline{U}_1 + i_2 z_2 + \overline{U}_n; \quad \overline{U}_1 = i_2 r_1; \quad \overline{U}_n = i_2 r_n;$$

$$r_1 = \frac{\overline{U}_1 z_2}{E_2 - \overline{U}_1 - \overline{U}_n}; \quad r_n = \frac{\overline{U}_n z_2}{E_2 - \overline{U}_1 - \overline{U}_n}. \qquad (П7\text{-}8)$$

2. Замыкание провода ВЛ на землю против одного из средних пунктов установки разрядников P_k (рис. П7-5):

$$\left.\begin{aligned} E_1 &= \overline{U}_k + i_1 z_1 + \overline{U}_1, \\ E_2 &= \overline{U}_k + i_2 z_2 + \overline{U}_n; \\ \overline{U}_1 &= i_1 r_1, \quad \overline{U}_n = i_2 r_n; \\ r_1 &= \frac{\overline{U}_1 z_1}{E_1 - \overline{U}_k - \overline{U}_1}; \quad r_n = \frac{\overline{U}_n z_2}{E_2 - \overline{U}_k - \overline{U}_n}. \end{aligned}\right\} \qquad (П7\text{-}9)$$

3. Замыкание провода ВЛ на землю против конечного пункта установки разрядников P_n (рис. П7-6).

$$E_1 = \overline{U}_n + i_1 z_1 + \overline{U}_1; \quad \overline{U}_1 = i_1 r_1$$

$$\overline{U}_n = i_n r_n;$$

$$r_1 = \frac{\overline{U}_1 z_1}{E_1 - \overline{U}_1 - \overline{U}_n},$$

$$r_n = \frac{\overline{U}_n z_1}{E_1 - \overline{U}_1 - \overline{U}_n}. \qquad (П7\text{-}10)$$

В формулах (П7-8)—(П7-10) и на рис. П7-4—П7-6:

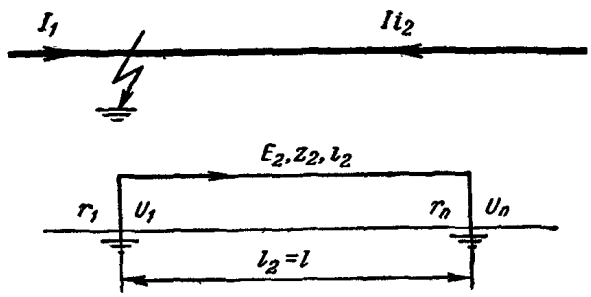


Рис. П7-4. Замыкание провода ВЛ на землю против начального пункта установки разрядников.

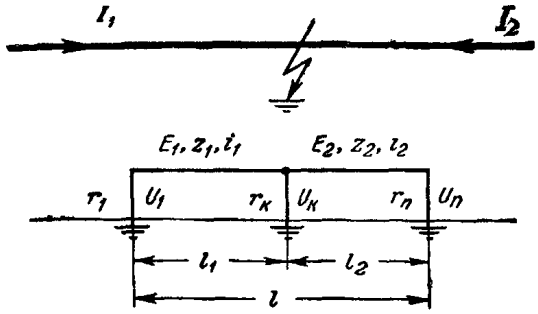


Рис. П7-5. Замыкание провода ВЛ на землю против одного из средних пунктов установки разрядников.

E_1 и E_2 — продольные э. д. с., индуктируемые влияющими токами I_1 и I_2 на участках ЛС l_1 и l_2;

z_1 и z_2 — полное сопротивление пучка проводов ЛС, замкнутых на концах на землю, для участков ЛС l_1 и l_2;

$i_1(I_1)$ и $i_2(I_2)$ — суммарные токи в пучке проводов ЛС на участках l_1 и l_2;

r_1, r_k, r_n — сопротивления заземляющих устройств в пунктах ЛС с разрядниками P_1, P_k и P_n.

Расчет r_1 и r_n по приведенным формулам производится для случаев замыкания ВЛ на землю против каждого разрядника схемы. Из полученных n значений r_1 и r_n выбирают наименьшие, которые обозначим в дальнейшем через $\bar{r}_1$ и $\bar{r}_n$.

После расчета сопротивлений $\bar{r}_1$ и $\bar{r}_n$ заземлений для крайних разрядников определяют сопротивления заземлений разрядников в промежуточных пунктах схемы. Для этого рассматривают случаи замыкания ВЛ на землю против каждого из промежуточных пунктов. Сопротивление заземления пункта P_k определяют из уравнений:

$$i_1 = \frac{E_1 - \bar{U}_k}{\bar{r}_1 + z_1};$$

$$i_2 = \frac{E_2 - \bar{U}_k}{\bar{r}_n + z_2};$$

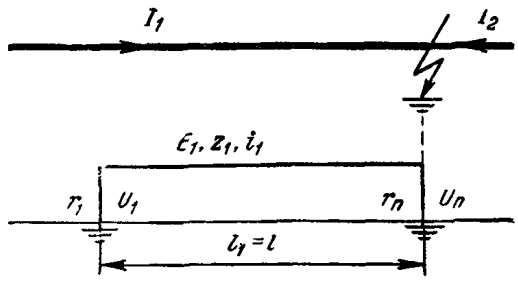


Рис. П7-6. Замыкание провода ВЛ на землю против конечного пункта установки разрядников.

$$\bar{U}_k = i_3 \bar{r}_3, \text{ где } i_3 = i_1 + i_2;$$

$$r_k = \frac{\bar{U}_k}{i_1 + i_2} =$$

$$= \frac{\bar{U}_k}{\dfrac{E_1 - \bar{U}_k}{\bar{r}_1 + z_1} + \dfrac{E_2 - \bar{U}_k}{\bar{r}_n + z_2}}. \qquad \text{(П7-11)}$$

Следует отметить, что в формулах (П7-9), определяющих $\bar{r}_1$ и $\bar{r}_n$ для случая срабатывания разрядников в средних пунктах, знаменатель в некоторых случаях может оказаться отрицательной величиной. Это будет указывать на то, что принятые в начале расчета напряжения $\bar{U}_1$ и $\bar{U}_n$ на заземлениях разрядников для данных случаев замыкания ВЛ на землю являются физически нереальными, так как эти напряжения могут быть выдержаны при отрицательных сопротивлениях r_1 или r_n (т. е. при включении в цепь вместо сопротивления r_1 или r_n некоторых дополнительных э. д. с., направленных согласно с E_1 или E_2). Для приведения расчетной схемы к реальным физическим условиям необходимо для этих случаев снизить напряжения $\bar{U}_1$ или $\bar{U}_n$ до пределов, обеспечивающих $E_1 - \bar{U}_k - U_1 = 0$ или $E_2 - \bar{U}_k - \bar{U}_n = 0$. Из последних условий вытекает, что при отрицательных значениях знаменателя в формулах (П7-9) следует принимать $r_1 = \infty$ или $r_n = \infty$, т. е. считать цепь со стороны r_1 или r_n разомкнутой.

Пример расчета заземлений разрядников

Линию связи на деревянных опорах защищают от влияния ВЛ со временем

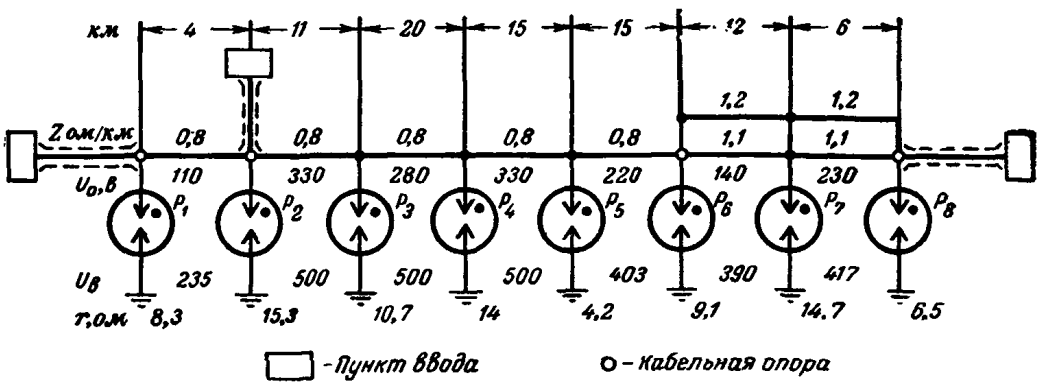


Рис. П7-7. Защита ЛС разрядниками, установленными в 8 пунктах.

отключения основной защиты свыше 0,6 *сек*. Разрядники установлены в восьми пунктах (рис. П7-7).

Линия имеет три стальных цепи и одну цветную на участке P_1—P_6 и три стальных и две цветные — на участке P_6—P_8 (одна из цветных цепей отходит от линии в пункте P_6).

Так как количество цепей на линии меняется, то расчет сопротивлений заземлений разрядников нужно вести раздельно для двух пучков проводов: из четырех цепей — на длине всей линии и из одной цветной цепи — на участке P_6—P_8.

Полное сопротивление заземлений в пунктах P_6—P_8 представляет собой сумму параллельных сопротивлений заземлений, найденных при раздельном расчете для каждого пучка проводов.

На рис. П7-7 для каждого участка линии указаны напряжения U_0 и полные сопротивления пучка проводов на 1 *км* длины линии. Напряжения U_0 определены в расчетах размещения разрядников на ЛС.

Полные сопротивления пучка проводов z взяты из графиков, приведенных на рис. П7-8—П7-10. Для участков P_6—P_8 указаны сопротивления для каждого из пучков проводов; их величины определены с учетом суммарного количества проводов вышеуказанных пучков, чем приближенно учитывается сопротивление взаимоиндукции между пучками.

Продольные э. д. с. E_1 и E_2, наводимые при замыкании ВЛ на землю против каждого из пунктов установки разрядников, известны и указаны в сводной расчетной таблице. В таблице указаны также полные сопротивления пучка проводов линии связи $(\Sigma zl)_1$ — на участке между P_1 и P_k и $(\Sigma zl)_2$ — на участке между P_k и P_n.

Для пунктов установки разрядников P_1, P_2 и P_8 принято пониженное значение $U_k \leqslant 250$ *в*, так как в этих пунктах уже имеются заземления и их требуется только довести до требуемых значений; для остальных пунктов принято $U_k \leqslant 500$ *в* (см. табл. 2-4 настоящих Правил). Исходя из этого и принимая во внимание, что для данного случая $U_{доп}=500$ *в*, по (П7-7а) определяют напряжения на заземлениях $\overline{U}_k$ для каждого пункта.

Для пунктов P_1, P_2 и P_8 $\overline{U}_k=250$ *в*; для пунктов P_6 и P_7—$\overline{U}_k=500$ *в*; для пункта P_3—$U_k=(500-330)4-250=430$ *в*. Аналогичным образом определяют значения $\overline{U}_k$ и для других пунктов. Эти значения вписаны в сводную расчетную табл. П7-1. На рис. П7-7 для каждого участка линии указаны напряжения провода ЛС относительно земли U, которые будут иметь место при данных значениях U_0 и U_k.

Далее определяют значения r_1 и r_n для условий:

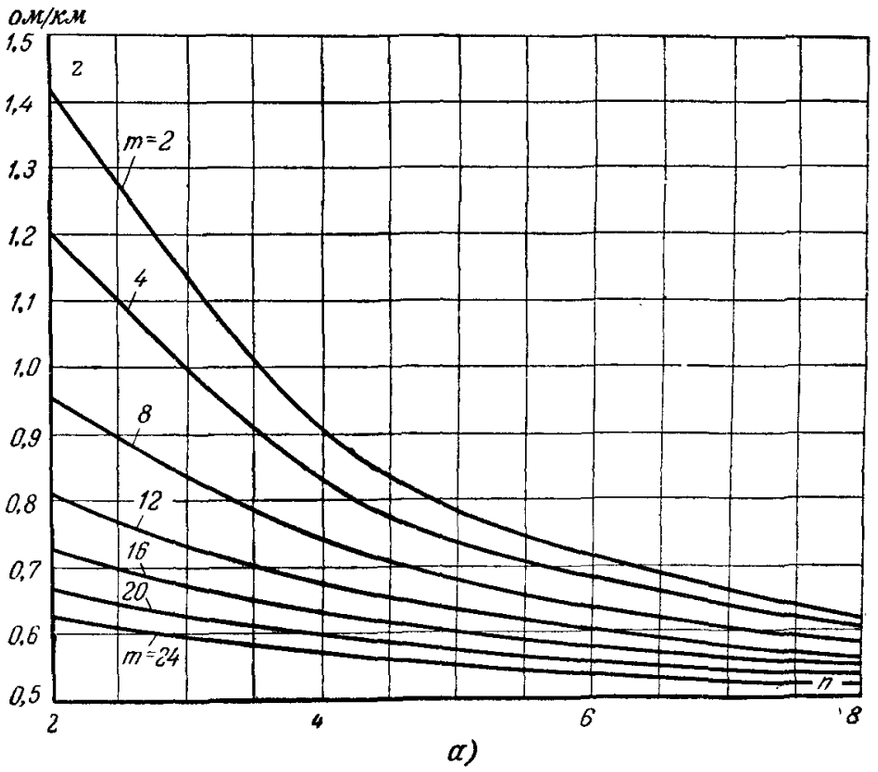
1) замыкание провода ВЛ на землю против начального пункта установки разрядников по (П7-8);

2) замыкание провода ВЛ на землю против каждого среднего пункта установки разрядников по (П7-9).

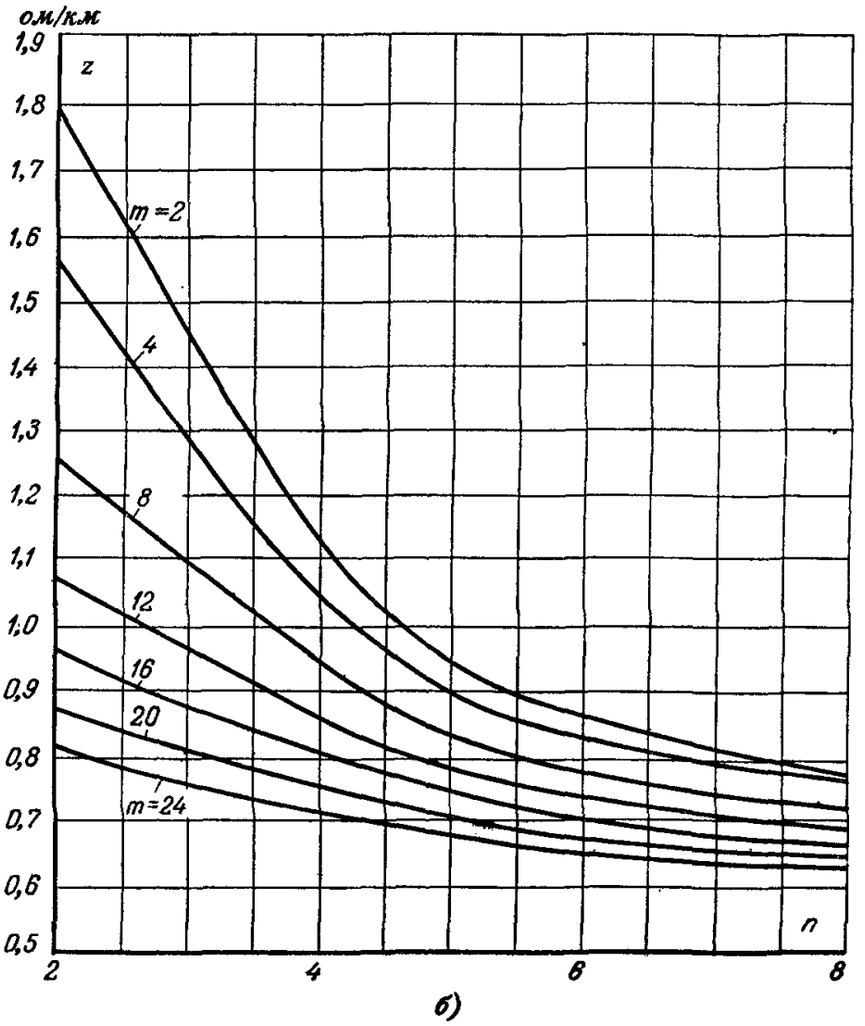
3) замыкание провода ВЛ на землю против конечного пункта установки разрядников по (П7-10).

Наименьшие из полученных значений r_1 и r_n являются величинами сопротивлений заземлений в начальном и конечном

№ разрядника	$U_к$, *в*	E_1, *в*	$\Sigma (zl)_1$, *ом*	r_1, *ом*	E_2, *в*	$\Sigma (zl)_2$, *ом*	r_n, *ом*	$r_к$, *ом*
1	250	—	—	12,0	2 000	0,8·65+1,1·18= =71,8	12,0	—
2	250	256	0,8·4=3,2	∞	1 475	0,8·61+1,1·18= =68,6	17,6	15,3
3	430	896	0,8·15=12	13,9	1 610	0,8·50+1,1·18= =59,8	16,1	10,7
4	450	915	0,8·35=28	32,6	1 451	0,8·30+1,1·18= =43,8	14,6	14,0
5	230	1 470	0,8·50=40	10,1	1 410	0,8·15+1,1·18= =31,8	8,5	4,2
6′	500	2 320	0,8·65=52	8,3	940	1,1·18=19,8	26,0	10,8
7′	500	1 870	0,8·65+1,1·12= =65,2	14,5	695	1,1·6=6,6		15,9
8′	250	1 560	0,8·65+1,1·13= =71,8	15,4	—	—	17,0	—
Значение $\overline{r}_1=8{,}3$ *ом* (для первого пучка)					Значение $\overline{r}_n=8{,}5$ *ом* (для первого пучка)			
6″	500	—	—	57	940	1,2·18=21,6	28,4	—
7″	500	290	1,2·12=14,4	∞	695	1,2·6=7,2	∞	195
8″	250	340	1,2·18=21,6	∞	—	—	∞	—
Значение $\overline{r}_1=57$ *ом* (для второго пучка)					Значение $\overline{r}_n=28{,}4$ *ом* (для второго пучка)			



а)



б)

Рис. П7-8. Сопротивление пучка стальных и биметаллических
m — количество стальных проводов

пунктах P_1 и P_8 — для первого пучка и в пунктах P_6 и P_8 — для второго пучка проводов.

После этого по (П7-11) определяют сопротивления заземлений для каждого из промежуточных пунктов.

Все расчетные данные записаны в таблице.

Полные сопротивления заземлений в пунктах P_6—P_8 (для обоих пучков проводов) соответственно будут равны:

$$r_6 = \frac{10{,}8 \cdot 57}{10{,}8 + 7} = 9{,}1 \text{ ом};$$

$$r_4 = \frac{15{,}9 \cdot 195}{15{,}9 + 195} = 14{,}7 \text{ ом};$$

$$r_8 = \frac{8{,}5 \cdot 28{,}4}{8{,}5 + 28{,}4} = 6{,}5 \text{ ом}.$$

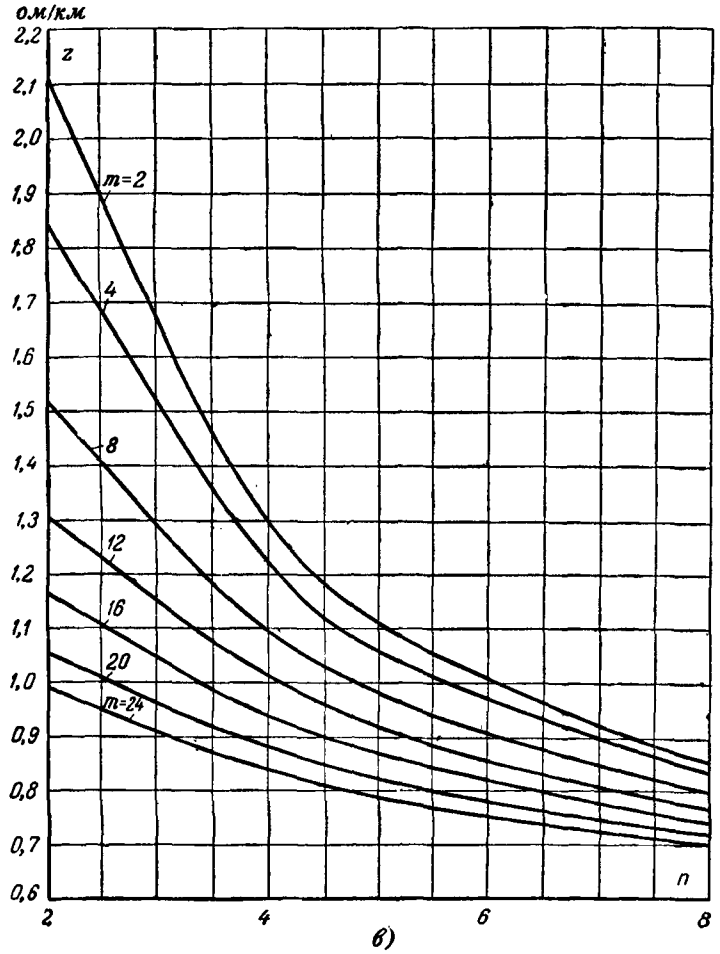
Подсчитанные сопротивления заземлений разрядников указаны на рис. П7-7 против соответствующих пунктов установки разрядников.

Расчет полного сопротивления пучка проводов ЛС, замкнутых по концам на землю

Расчет заземлений для разрядников требует предварительного определения полного сопротивления пучка проводов ЛС, замкнутых по концам на землю. Полные сопротивления пучков проводов приведены на рис. П7-8—П7-10. Эти кривые рассчитаны для пучков проводов трех основных видов: из стальных и цветных, стальных и биметаллических и только стальных проводов (диаметр проводов во всех случаях равен 4 *мм*).

На этих рисунках приведены также формулы для расчета полного сопротивления одного из проводов пучка, по которым могут быть определены сопротивления любой части пучка. Эти величины необходимы для расчета раздельных заземлений частей пучка в том случае, когда провода линии связи заводятся в разные пункты, в которых устраиваются самостоятельные заземления.

При расчете сопротивлений пучков проводов была учтена внутренняя индук-



в)

проводов при токе в стальном проводе 1 *а* (*а*); 3 *а* (*б*) и 7 *а* (*в*).

в пучке; *n* — то же биметаллических.

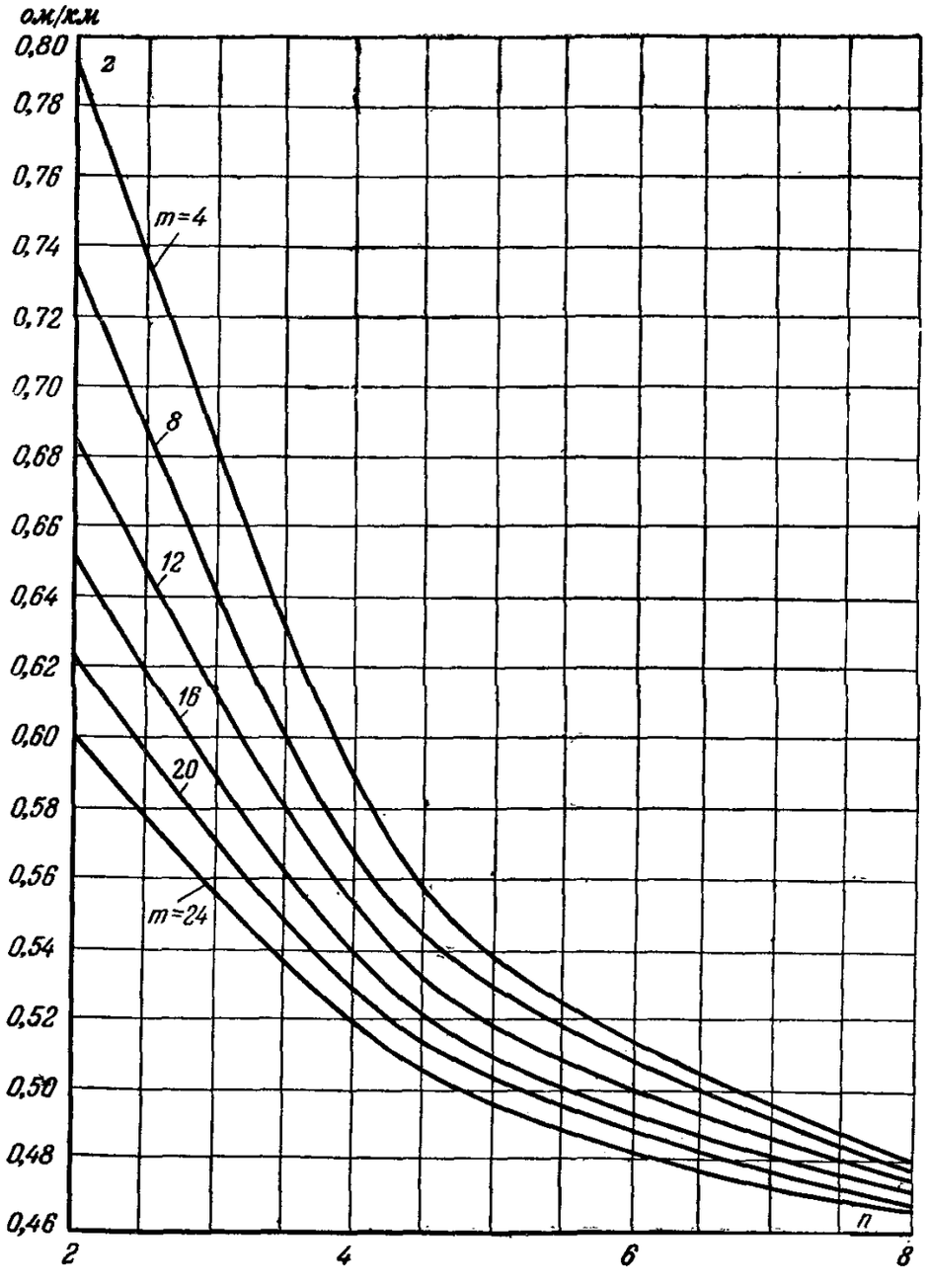


Рис. П7-9. Сопротивление пучка стальных и медных проводов.

m — количество стальных проводов в пучке; n — то же медных. Сопротивление одного провода в пучке: стального $z_m = z(m+11{,}6n)$; медного $z_n = z(n+0{,}086m)$.

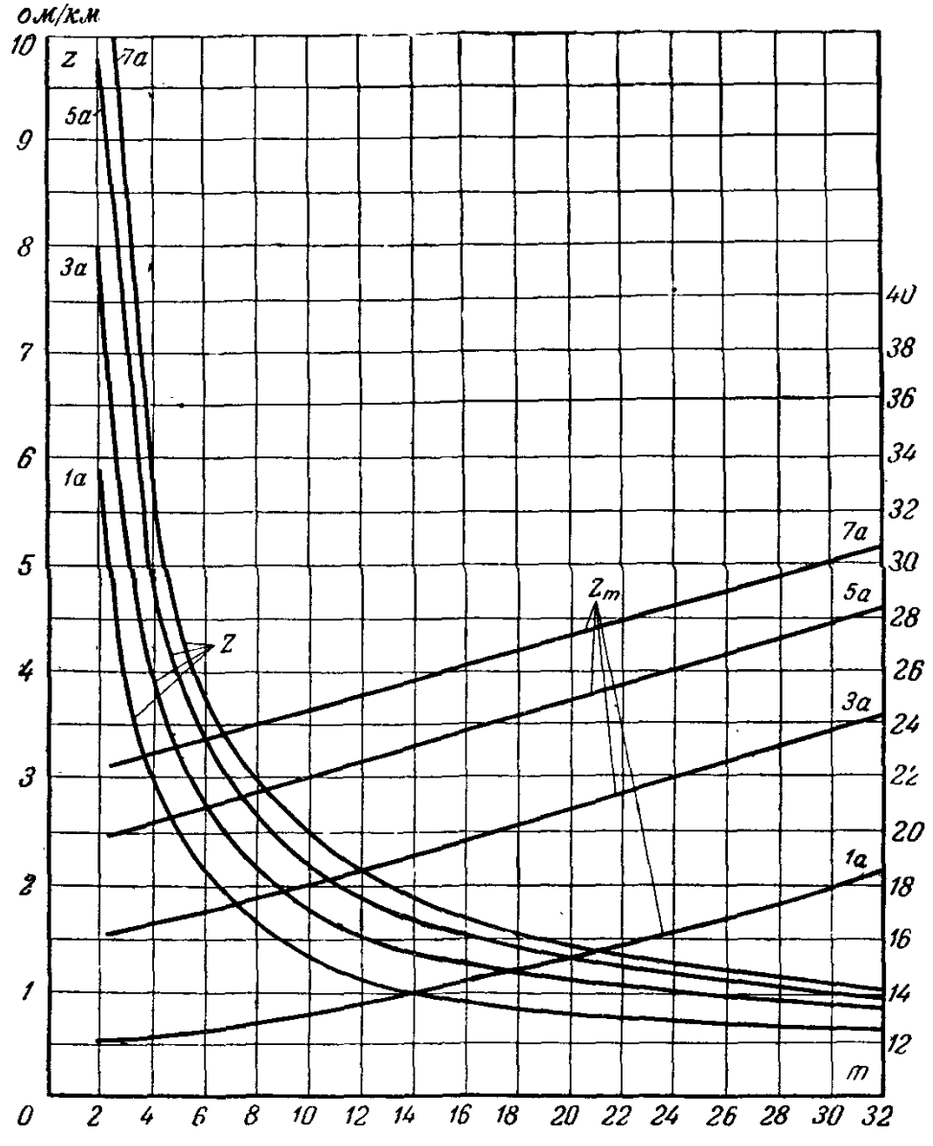


Рис. П7-10. Сопротивление пучка стальных проводов и одного провода в пучке при токах в стальном проводе 1, 3, 5 и 7 *а*.

z_m — сопротивление одного провода в пучке, *ом/км*; m — количество проводов.

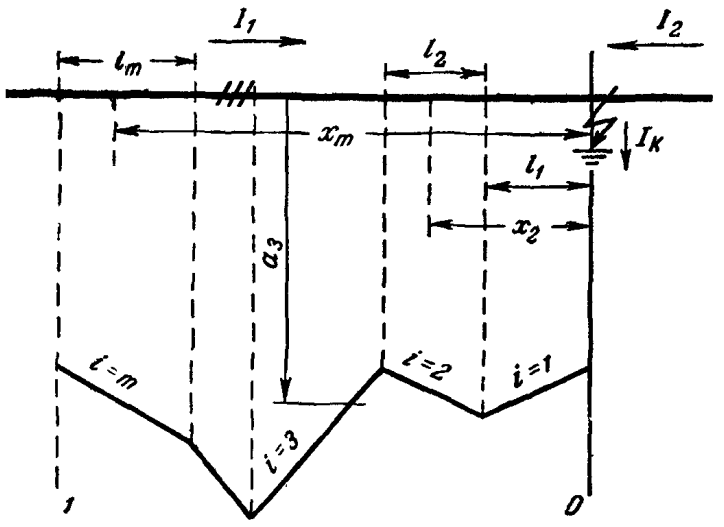


Рис. П7-11. К расчету влияния концевого эффекта при размещении разрядников в местах с высоким удельным сопротивлением земли.

тивность стальных и биметаллических проводов. Профиль линии связи (крюковой или траверсный), расположение проводов на опоре и удельное сопротивление грунта слабо сказываются на величине полного сопротивления проводов, поэтому графики, рассчитанные для средних условий, пригодны для всех практически встречающихся случаев. Величины токов, протекающих в проводах пучка, напротив, значительно влияют на полное сопротивление в случае пучка, состоящего из стальных и биметаллических или только стальных проводов. Соответственно этому кривые для этих пучков рассчитаны для следующих величин тока в каждом из стальных проводов пучка:

1 *а* — соответствует низкому уровню влияния ВЛ;

3 *а* — соответствует среднему уровню влияния ВЛ;

7 *а* — соответствует повышенному и высокому уровню влияния ВЛ; последнее объясняется тем, что сопротивление стального провода при токе 7 *а* примерно равно сопротивлению и при больших токах.

Для пучка из стальных и цветных проводов величины токов в проводах существенно не влияют на полное сопротивление проводов.

При расчете сопротивлений разрядников следует пользоваться кривыми сопротивления проводов соответственно уровню влияния ВЛ. В случаях, когда получаются трудновыполнимые и дорогостоящие заземления, следует определить токи в стальном проводе при необходимости повторить расчет по уточненному значению тока.

Учет концевого эффекта при размещении разрядников в местах с высоким удельным сопротивлением земли

В местностях с высоким удельным сопротивлением земли, где устройство заземлений разрядников с малыми сопротивлениями требует больших капитальных затрат, рекомендуется учитывать экранирующее влияние концевого эффекта вблизи от места короткого замыкания на ВЛ, снижающего продольную э. д. с., индуктированную в проводах ЛС.

Продольная э. д. с. E_1, индуктированная на участке *1—0* (рис. П7-11) в проводах ЛС магнитным полем от тока I_1 (с учетом компенсирующего влияния тока I_2 при коротком замыкании на ВЛ в точке *0*), равна

$$E_1 = I_1 S_{\text{общ}\,i} \sum_{i=1}^{n} z_{(1-A)\,i}\, l_i S_{\text{к.з}\,i}, \quad \text{(П7-12)}$$

где i — число элементарных участков на участке *1—0*;

$z_i = \frac{1}{7} \ln \frac{D_i}{d_i}$ — взаимное сопротивление на i-м участке, *ом/м*;

l_i — длина i-го участка, *км* $\left(l_i \leqslant a_i + \frac{x_i}{2}\right)$;

$S_{\text{общ}\,i}$ — коэффициенты экранирования по формуле (2-10);

$S_{к.зi}$ — коэффициент экранирования встречными токами на i-м участке[1]

$$S_{к.зi} = 1 - \frac{I_i}{2I_1 \ln \frac{D_i}{d_i}} \times$$

$$\times \ln \frac{\sqrt{D_i^2 + x_i^2} + x_i}{\sqrt{d_i^2 + x_i^2} + x_i};$$

здесь $I_i = I_1 + I_2$ — ток в месте короткого замыкания;

$d_i = a_i$ — расстояние от ЛС до ближайшего провода ВЛ на i-м участке, *км*;

$a_i = \frac{a_{макс} + 2a_{мин}}{3}$ — расчетная ширина сближения на i-м участке, *км* ($a_{макс} \leqslant 5a_{мин}$ в пределах i-го участка);

$D_i = \sqrt{a_i^2 + \frac{\rho}{78}}$ — расстояние от ЛС до эквивалентного обратного тока в земле на i-м участке, *км*;

x_i — расстояние от места короткого замыкания до середины i-го участка на ВЛ, *км*.

[1] Если $I_i > 2I_1$, то вблизи места короткого замыкания $S_{к.зi} = 0$ и в формуле (П7-12) производится арифметическое суммирование с учетом знака $S_{к.зi}$.

В случае, если трасса сближения вблизи места короткого замыкания близка к параллельной ($a_{макс} \leqslant 1{,}5a_{мин}$ в пределах всего участка *1—0*), то продольную э. д. с. можно вычислить по приближенной формуле

$$E_1 \approx E'_1 - \Delta E_1 = E'_1 - I_к \frac{z_{i\infty} l_1 z}{2z_{i\infty} + l_1 z}, \quad \text{(П7-13)}$$

где $E'_1 = I_1 S_{ост} \sum_{i=1}^{i=N} z_i l_i$ — продольная э. д. с. на всем участке, вычисленная по (2-1);

ΔE_1 — суммарная противо-э. д. с., возникающая вследствие экранирующего эффекта от встречных токов;

$z_{i\infty} \approx \frac{I_{ср} - a_{ср}}{32}$ — эквивалентное взаимное сопротивление концевого эффекта при $l_{0-1} \to \infty$;

$$a_{ср} = \frac{a_{макс} + 2a_{мин}}{3};$$

$l_1 z = \frac{l_1}{7} \ln \frac{D_{ср}}{d_{ср}}$ — взаимное сопротивление для среднего параллельного сближения;

$$D_{ср} = \sqrt{a_{ср}^2 + \frac{\rho}{78}}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

ПРАВИЛА И ВТУ, КОТОРЫМ ДОЛЖНЫ УДОВЛЕТВОРЯТЬ СООРУЖЕНИЯ СВЯЗИ

1. Правила технической эксплуатации междугородной телефонной связи. Связьиздат, 1957.
2. Правила строительства и ремонта воздушных линий связи и радиотрансляционных сетей. ч. I—IV. Связьиздат, 1960—1963.
3. Электрические нормы проектирования радиотрансляционных сетей. Связьиздат, 1961.
4. ТУ 320-61. Линии воздушные междугородной связи, городских телефонных сетей и радиотрансляционных сетей.
5. ТУ 321-60. Линии кабельные междугородной связи.
6. ТУ 322-60. Линии кабельные городских телефонных сетей.
7. ТУ 323-60. Линии кабельные радиотрансляционных сетей.
8. ТУ 324-60. Станции телефонные междугородные и усилительные пункты. Линейно-аппаратные залы.
9. ТУ 325-60. Станции телеграфные.
10. ТУ 327-60. Станции городских телефонных сетей.
11. ВТУ 419-57. Каналы телефонные междугородных воздушных линий связи с проводами из цветных металлов.
12. ВТУ 420-57. Каналы телефонные междугородных воздушных линий связи на стальных цепях.
13. ВТУ 421-57. Каналы телефонные междугородных симметричных кабельных линий связи с кордельно-бумажной и кордельно-стирофлексной изоляцией (систем К-12 и К-24).
14. ТУ 328-60. Станции радиотрансляционных сетей.
15. ВТУ 175-60. Междугородные кабельные линии связи. Нормы электрические на смонтированные усилительные участки.

КАРТА УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗЕМЛИ СССР

На основании данных многочисленных измерений, проведенных ЦНИИС Министерства связи СССР, была составлена карта удельной проводимости земли европейской части СССР.

В связи с мощным развитием энергетики и средств связи восточной части страны появилась необходимость в составлении карты удельного сопротивления земли для районов Сибири, Казахстана и др. На это потребовалось бы очень много времени. Поэтому пришлось идти другим путем. Работы по изучению сопротивления грунта и по исследованию геологической структуры верхних слоев земной коры, проделанные в СССР и за границей, позволили накопить большой фактический материал и установить определенные зависимости между величинами кажущегося удельного сопротивления земли и характером строения и возрастным периодом геологической породы. Таким образом, карта геологического строения местности позволяет с достаточной для практики точностью определить величину кажущегося удельного сопротивления земли.

Сравнительное изучение карты геологического строения местности, карты удельной проводимости земли европейской части СССР, составленной на основании измерений, а также данных некоторых отдельных измерений, проведенных в различных районах Западной Сибири, позволило составить карту кажущегося сопротивления земли для районов Сибири и Средней Азии.

При таком способе составления неизбежна некоторая ошибка, однако ее можно считать негрубой. Следует иметь в виду, что ошибка в 2 раза, допущенная в величинах удельного сопротивления земли, при составлении карты может привести к ошибке в подсчете коэффициента взаимоиндукции всего лишь в 10—15%. Такая ошибка вполне допустима с точки зрения расчета влияния, поскольку в расчет входит достаточно большое количество приблизительно определенных коэффициентов, так что весь расчет может быть выполнен с точностью не выше 25—30%. При этом ошибка может быть как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения.

При составлении карты (рис. П9-1) были использованы карта геологического строения верхних слоев земной коры интересующего района и карта проводимости земли европейской части СССР, составленная на основе большого количества фактических материалов.

На карту Сибири на основе сравнения геологического строения европейской части с геологическим строением Сибири были нанесены вероятные величины удельного сопротивления глубинных слоев земли с некоторым усреднением для отдельных мест, где геологическое строение отличается значительной неоднородностью.

Проделанные в некоторых пунктах Сибири контрольные измерения показали правильность предположенных величин удельного сопротивления земли для этих районов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов М. И., Влияние внешних электромагнитных полей на цепи проводной связи и защитные мероприятия. Связьиздат, 1959.

2. Михайлов М. И., Опыты по выяснению влияния линий электропередач на провода связи. Двадцать третий сборник научно-исследовательского института сигнализации и связи, 1933, гл. IX, стр. 94—100.

3. Снарский А. А., Результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния контактной сети эл. ж. д. переменного тока на кабельной линии связи. Труды ЦНИИ МПС, Трансжелдориздат, вып. 265, 1963.

4. КАРД — Удельное сопротивление земли и геологическая структура, Bell System Technical Journal, 1936, № 1, стр. 167—171.

5. Михайлов М. И. и Чесноков В. М., Кажущаяся проводимость земли при слоистой структуре. «Электросвязь», 1936, № 5.

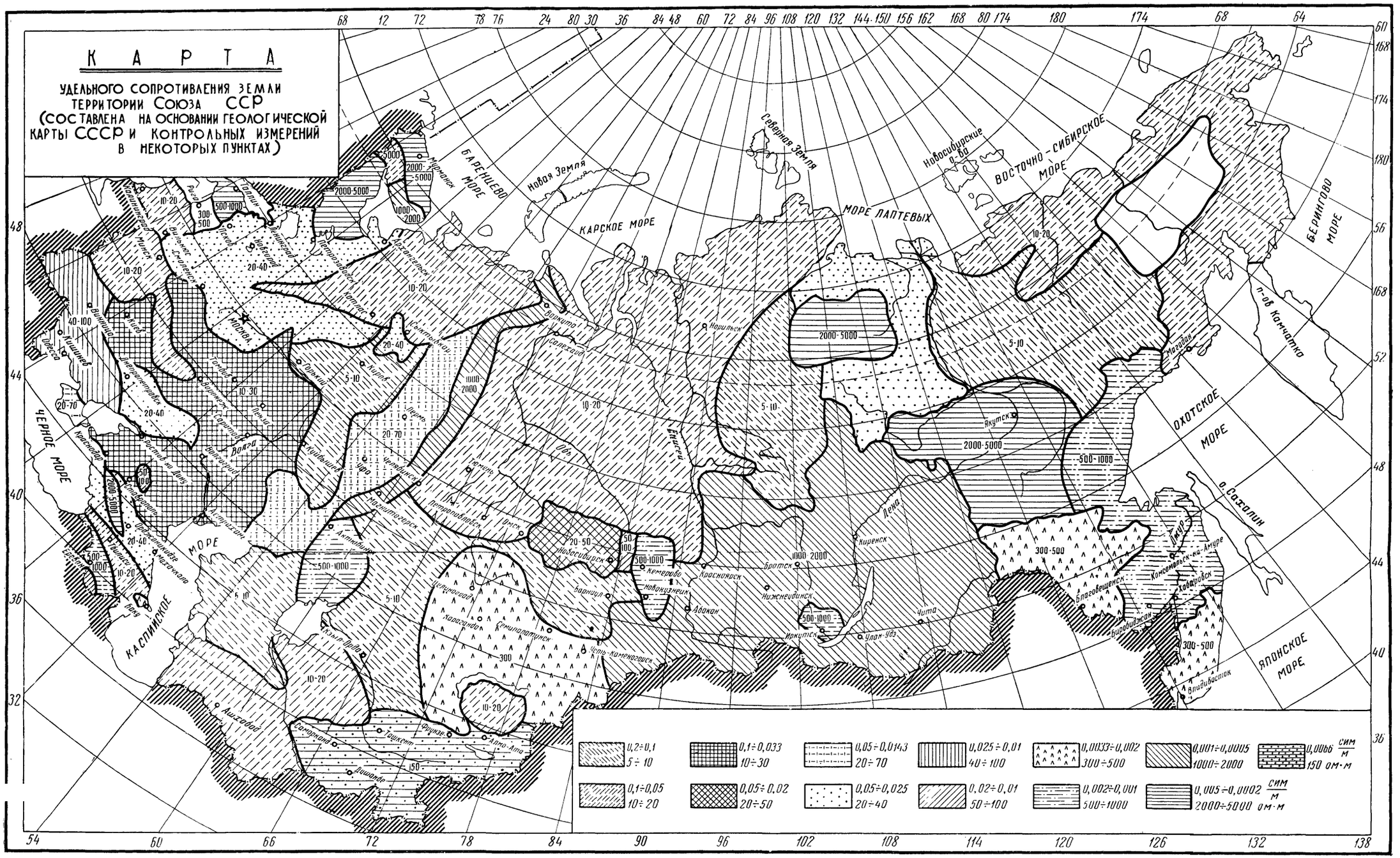
6. Sunde E. D., Earth Conduction Effects in Transmission Systems, D-van Nostrand Company Inc., Toronto, New York, London, 1949.

7. Геологическая карта СССР, Госгеологиздат, 1940.

8. Правила ограждений сооружений связи и сигнализации от вредного действия установок сильного тока. Связьиздат, 1943.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие положения 3
2. Опасные влияния 4
Требования и нормы 4
Мероприятия по защите от опасного влияния 7
Расчет опасного влияния 7
Приложение 1. Пояснения к расчетным формулам опасного влияния 16
Приложение 2. Определение параметров магнитного влияния между однопроводными цепями 18
Приложение 3 Коэффициенты экранирования заземленных проводов при магнитном влиянии линий электропередачи на линии связи 20
Приложение 4. Проверка расчетных данных опасного влияния ВЛ с заземленной нейтралью 22
Приложение 5. Перечень документации и исходных данных, необходимых для расчета индуктивного влияния ВЛ на ЛС при их сближениях 23
Приложение 6. Защита телефонных линий, заходящих на территорию электростанции (подстанции), от опасных напряжений 24
Приложение 7. Защита линий связи при помощи разрядников . . 26
Приложение 8. Правила и ВТУ, которым должны удовлетворять сооружения связи 38
Приложение 9. Карта удельного сопротивления земли СССР . . . 39


К А Р Т А
УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗЕМЛИ ТЕРРИТОРИИ СОЮЗА ССР
(СОСТАВЛЕНА НА ОСНОВАНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ СССР И КОНТРОЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В НЕКОТОРЫХ ПУНКТАХ)
Баренцево море
Новая Земля
Карское море
Северная Земля
Новосибирские о-ва
Море Лаптевых
Восточно-Сибирское море
Берингово море
п-ов Камчатка
Охотское море
о. Сахалин
Японское море
Черное море
Каспийское море
Москва
Ленинград
Архангельск
Мурманск
Якутск
Магадан
Хабаровск
Комсомольск-на-Амуре
Владивосток
Новосибирск
Красноярск
Иркутск
Чита
Братск
Нижнеудинск
Кемерово
Новокузнецк
Барнаул
Абакан
Кызыл
Улан-Удэ
Благовещенск
Биробиджан
Свободный
Тында
Киренск
Нерюнгри
Норильск
Дудинка
Игарка
Салехард
Воркута
Усть-Цильма
Печора
Архангельск
Мезень
Онега
Северная Двина
Вычегда
Сухона
Пермь
Чусовая
Екатеринбург
Челябинск
Магнитогорск
Оренбург
Орск
Актюбинск
Уральск
Гурьев
Астрахань
Волга
Самара
Ульяновск
Саратов
Пенза
Тамбов
Воронеж
Курск
Орел
Тула
Калуга
Смоленск
Брянск
Рязань
Горький
Киров
Йошкар-Ола
Ижевск
Казань
Пермь
Уфа
Оренбург
Челябинск
Курган
Тюмень
Омск
Новосибирск
Томск
Кемерово
Прокопьевск
Междуреченск
Барнаул
Бийск
Горно-Алтайск
Рубцовск
Алтайский край
Новокузнецк
Абакан
Кызыл
Чадан
Кемчик-Оол
Хакасия
Минусинск
Ачинск
Канск
Иркутск
Братск
Усть-Илимск
Усть-Кут
Чита
Улан-Удэ
Нерчинск
Могоча
Тында
Свободный
Благовещенск
Биробиджан
Комсомольск-на-Амуре
Хабаровск
Владивосток
Находка
Якутск
Ленск
Вилюйск
Нерюнгри
Алдан
Олекминск
Мирный
Удачный
Среднеколымск
Верхоянск
Оймякон
Магадан
Анадырь
Петропавловск-Камчатский
Ключи
Усть-Камчатск
Корф
Тигиль
Палана
Охотск
Николаевск-на-Амуре
Советская Гавань
Комсомольск-на-Амуре
Амурск
Хабаровск
Биробиджан
Облучье
Смидович
Ванино
Советская Гавань
Николаевск-на-Амуре
Охотск
Палана
Тигиль
Корф
Усть-Камчатск
Ключи
Петропавловск-Камчатский
Анадырь
Беринговский
Провидения
Мыс Дежнева
Мыс Шмидта
Певек
Чаунская губа
Амбарчик
Тикси
Хатанга
Диксон
Дудинка
Игарка
Туруханск
Енисейск
Красноярск
Ачинск
Минусинск
Абакан
Кызыл
Чадан
Кемчик-Оол
Хакасия