

Защита направляющих систем связи от внешних влияний

Электромагнитная совместимость любой системы — это совокупность качественных показателей, включающих, с одной стороны, способность нормально функционировать при наличии внешних естественных и допустимых промышленных электромагнитных полей; с другой стороны, рассматриваемая система сама не должна создавать электромагнитное поле выше оговоренного нормативно-технической документацией уровня.

Электромагнитная помеха — нежелательное воздействие электрического и магнитного полей, а также тока и напряжения любого источника, которое может ухудшить качество функционирования передачи за счет искажения информативных параметров полезного сигнала.

Естественные электромагнитные поля образуются электромагнитными процессами и явлениями, объективно происходящими в различных точках Земли и космосе, которые непосредственно не связаны с деятельностью человека.

Электрические НСЭ занимают частотный диапазон от 0 до 10^{12} Гц, поэтому источники мощных электромагнитных влияний оказывают значительное влияние на все виды электрических НСЭ. Из всего многообразия источников влияния можно выделить только несколько, которые создают опасные и мешающие влияния на оптические кабели связи. Это в первую очередь связано с занимаемым диапазоном, поэтому источники, создающие электромагнитные влияния на металлические НСЭ, для оптических кабелей (ОК) не представляют большой опасности.

Учитывая то, что оптические системы работают в диапазоне $10^{14} \dots 10^{15}$ Гц, можно сделать вывод, что ни один частотный спектр влияющих источников не попадает в спектр сигнала оптического волокна (ОВ).

Классификация и конструкции ОК были рассмотрены ранее. Очевидно, что большинство ОК имеют металлические элементы (МЭ) в конструкции и только небольшая группа полностью диэлектрических оптических кабелей связи (ДОК).

В конструкциях ОК с МЭ могут быть внешние металлические элементы (ВМЭ) в виде механической защиты сердечника ОК с центральным металлическим элементом (ЦМЭ), ВМЭ и жилами дистанционного питания (ЖДП). Кроме того, для увеличения срока службы ОВ применяется металлизация ОВ (ОВ с М). Возможны различные варианты использования металлических оболочек (Fe, Al), оплеток (О), бронепокровов (БП) и полиэтиленовых оболочек (ПЭТ).

Полностью диэлектрические конструкции ОК (ДОК) применяются как для прокладки в земле, так и для внешней подвески на различных существующих опорах электросетей и сетей связи. При прокладке в земле возможна прокладка ОК совместно с высоковольтным кабелем (ВВК) или даже в конструкции ВВК, в туннеле и на пересечениях с ВВК.

Учитывая свойства ОВ, ОК широко используют для подвески на опорах высоковольтных линий, осветительной сети, железных дорог, трамвая и троллейбуса.

Однако при высоких уровнях напряжений на ВВЛ возникает мощное электрическое поле (опасное влияние), и при определенных условиях (дождь, высокий уровень загрязнения атмосферы) образуется электрическая дуга, приводящая к разрушению ОК. Одновременно высокая напряженность поля изменяет показатель преломления ОВ, что приводит к эффекту Керра. Эффект Керра проявляет себя также возникновением двойного лучепреломления под действием электрического поля. Величина двойного лучепреломления прямо пропорциональна квадрату напряженности электрического поля. Эффект Фарадея проявляет себя поворотом поляризации светового луча при воздействии магнитного поля. Магнитооптический эффект также приводит к увеличению затухания и дисперсии оптического волокна.

При грозовых разрядах возникают кратковременные эффекты Керра и Фарадея. Наиболее мощным электромагнитным влиянием подвержены оптические кабели с металлическими элементами (ОК с МЭ) при прокладке в земле и подвеске. На ОК и ОВ оказывают опасное влияние грозовые разряды, высоковольтные линии (ВВЛ), электрифицированные железные дороги (ЭЖД) в аварийном и нормальном режимах работы. При грозовых разрядах и коротких замыканиях на ВВЛ возможно такое воздействие на ОК, как разогрев полимерных элементов под действием протекающих токов, их разрушение, либо сокращение срока службы других конструктивных элементов ОК. Мешающее влияние так же проявляется в эффектах Керра и Фарадея, которые приводят к увеличению дисперсии и затухания.

Для внешних электромагнитных влияний ВВЛ на электрические НСЭ характерны следующие особенности: во-первых, практическое отсутствие влияния за счет поперечной асимметрии в расположении проводников, свойственной процессу взаимных влияний; во-вторых, определяющая роль влияний за счет продольной асимметрии цепей проводник-земля (оболочка) и, в-третьих, возможность пренебречь активными составляющими электромагнитных связей (g и g). Кроме того, для внешних источников влияния характерно следующее:

- разные длины влияющих, подверженных влиянию и третьих цепей;
- пренебрежимо малое затухание высоковольтных линий по сравнению с линиями связи, подверженными влиянию;
- необходимость учета искажения электромагнитного поля за счет других электропроводящих предметов, таких как грозозащитные тросы, железнодорожные рельсы, рядом расположенные провода и кабели, деревья и др.

Различают следующие виды внешних влияний:

- электрические, обусловленные действием электрического поля;
- магнитные, возникающие за счет действия магнитного поля;
- гальванические, появляющиеся вследствие наличия в земле блуждающих токов, создаваемых ВВЛ и использующих землю в качестве обратного проводника.

Под действием блуждающих токов на оболочках кабелей связи появляется напряжение и в цепях связи возникает влияние. Особенно велико гальваническое влияние при аварийных режимах ВВЛ и в местах расположения электростанций.

Под действием внешних электромагнитных полей в сооружениях связи могут возникать напряжения и токи:

- опасные, при которых появляются большие напряжения и токи, угрожающие жизни обслуживающего персонала и абонентов или приводящие к повреждению аппаратуры и линейных сооружений. Опасными считаются: напряжение $U > 36$ В, ток > 15 мА;
- мешающие, при которых возникают помехи, шумы, искажения, приводящие к нарушению нормальной работы средств связи. Мешающими считаются: напряжение $U \ll 1 \dots 2$ мВ, ток $\ll 1$ мА.

Внешние влияния подразделяются также на длительные и кратковременные. Границей раздела между ними является время $t = 1$ с.

Действие внешних источников бывает постоянным или случайным. Время действия колеблется в широких пределах: от долей секунды (молния) до непрерывной длительности. Спектр частот внешних источников, как правило, имеет широкую полосу. Амплитуда влияющих напряжений и токов, исходящих от внешних источников, зависит от мощности установки и места расположения ее по отношению к линии связи. Источниками внешних электромагнитных влияний на электрические НСЭ являются: атмосферное электричество (гроза), ВВЛ, ЭЖД, радиостанции (РС), причем атмосферное электричество и ВВЛ, особенно в аварийном режиме, оказывают опасное влияние, а ЭЖД, ВВЛ, РС — мешающее влияние.

Влияние оказывают также индустриальные помехи (бытовые электроаппараты, городской электротранспорт), магнитные бури и др. Кроме того, металлические оболочки кабелей подвержены коррозии, т.е. разрушению под действием блуждающих токов и электрохимических процессов в грунте. Ниже рассматриваются источники внешних влияний и меры защиты сооружений от них.

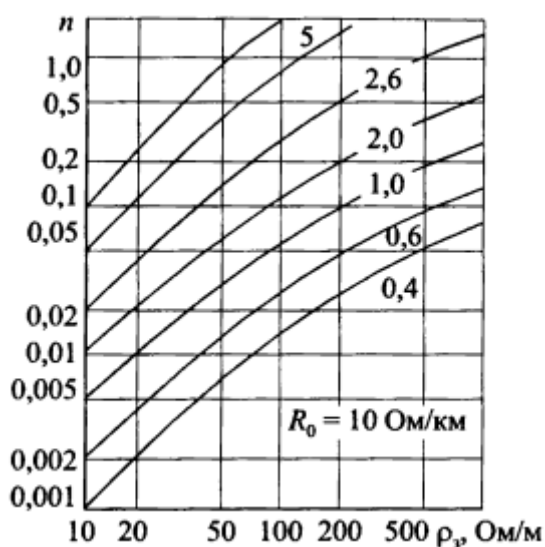
Влияние атмосферного электричества

Опасному воздействию атмосферного электричества подвержены как электрические, так и оптические НСЭ. На территории Российской Федерации грозы наблюдаются повсеместно, однако число грозовых дней в различных районах РФ различно. Так, в районах Москвы, Санкт-Петербурга и Калининграда среднее число грозовых дней в году составляет 20-25. В районах средней полосы России и на Кавказе число грозовых дней в среднем достигает 40-60, а в некоторых местах — 80 и более. Вероятное число повреждений кабелей от ударов молнии характеризуется плотностью повреждений n , под которой понимается общее число отказов в связи, отнесенных к 100 км трассы кабельной линии в год. Ее можно определить по формуле

$$n = (N/KL) \cdot 100,$$

где N — число повреждений, равное числу опасных ударов молнии; K — период, за который произошло N повреждений, лет, L — длина трассы, км.

Установлено, что в течение грозового периода в районах с грозодеятельностью 20–25 дней в году на каждые 100 км трассы приходится восемь-десять случаев прямого удара молнии в НСЭ. Опасность повреждений кабельной линии существенно зависит от состояния грунта и проводимости кабельной оболочки. На след. рис. приведен график вероятности числа повреждений НСЭ на 100 км в год в зависимости от удельного сопротивления грунта (ρ_z) и сопротивления металлической оболочки ($R_{об}$)



Из графика видно, что в грунтах с большим сопротивлением (песке, скале, глине, граните и др.) и при больших сопротивлениях металлопокрывов опасность повреждения кабеля возрастает. Грозо-повреждаемость кабелей в алюминиевой оболочке, имеющей малое сопротивление, существенно меньше, чем в свинцовой и стальных оболочках.

Для определения вероятной плотности повреждений ОК, содержащего металлический бронепокров и пластмассовую оболочку, необходимы следующие исходные данные:

- молниестойкость кабеля, кА;
- интенсивность грозовой деятельности в районе прокладки ОК — удельная плотность ударов молнии в землю в год, определяемая из среднегодовой продолжительности гроз в часах, $1/\text{км}^2$; удельное сопротивление грунта ρ , Ом/м;
- электрическая прочность изоляции пластмассовой оболочки, кВ.

Молниестойкость ОК — максимально допустимый ток молнии (I_m), в результате протекания которого по металлическому бронепокрову ОК не нарушается целостность оптических волокон ОК или не возрастает их затухание. Молниестойкость ОК зависит от механической прочности ОК (в первую очередь от стойкости к раздавливающим усилиям), тепловых характеристик кабельных материалов, проводимости металлических

бронепокровов, наличия промежуточных оболочек с металлическими конструктивными элементами, наличия и электрической прочности изоляции жил дистанционного питания (ДП).

Молниестойкость ОК определяется экспериментально в соответствии с рекомендацией К.25 МСЭ-Т «Защита волоконно-оптических кабелей от ударов молнии». Принята следующая градация ОК по категориям молниестойкости:

Категория молниестойкости ОК.... Ток молнии, к А

- I..... $I_m > 105$
- II..... $80 \leq I_m < 105$
- III..... $55 \leq I_m < 80$
- IV..... $I_m < 55$

Значения допустимого тока молнии (I_m) основных марок ОК для использования на магистральной и внутризоновых сетях передачи, освоенных к выпуску кабельными предприятиями России, с указанием их категории по молниестойкости, приведены в табл.

Марка кабеля	Максимально допустимый ток молнии, кА	Категория по молниестойкости
<i>Магистральный, внутризоновый</i>		
ОКЛК-03	90	II
ОКЛБ-01	30 (20)	IV
ОКЛАК-01	105	I
ОМЗКГ-10	90	II
<i>Внутризоновый</i>		
ОЗКГ-1	90 (30)	II (IV)
ОКЗК-1	40 (30)	IV
ОКЗБ-1	30	IV
ОКЗО-1	—	IV
ОКЗМК-1	105	I

Интенсивность грозовой деятельности для конкретно рассматриваемой местности определяется по удельной плотности ударов молнии в землю (ожидаемое число ударов молнии в 1 км^2 поверхности земли за год, исходя из среднегодовой продолжительности гроз в часах).

Использование карты среднегодовой продолжительности гроз и данных удельного сопротивления грунта, определенных по составу грунта, возможно, если расчетная величина вероятной плотности повреждений кабеля не превышает половину допустимой величины.

При неоднородном грунте необходимо учитывать модуль геоэлектрического разреза (отношение удельного сопротивления нижнего слоя грунта к удельному сопротивлению верхнего слоя грунта). Значения модуля определяют следующим образом:

Модуль геоэлектрического разреза	Коэффициент увеличения расчетной вероятной плотности повреждений кабеля
$\mu < 1$	1
$1 < \mu < 10$	5
$\mu > 10$	50-100

Пробивное напряжение полиэтиленовой оболочки, применяемой в конструкциях, прокладываемых в грунт ОК, составляет 40... 120 кВ. Однако, исходя из нормы испытательного напряжения изоляции полиэтиленовой оболочки ОК между металлическими бронепокровами ОК и грунтом (20 кВ постоянного тока), следует принимать значение ее пробивного напряжения в импульсном режиме равным 40 кВ.

Характеристики района прокладки ОК, а именно интенсивность грозовой деятельности, удельные сопротивления нижнего и верхнего слоев грунта, задаются в качестве исходных данных. Параметры ОК определяются в зависимости от типа кабеля и металлопокрывов.

При проектировании волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) необходимо предусматривать применение ОК, категории молниестойкости которых соответствуют данным табл.

Районы	Рекомендуемые категории по молниестойкости ОК, предназначенных для применения на сетях связи:	
	магистральных	внутризоновых
ρ грунта $\leq 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$	I–III	I–IV
ρ грунта $> 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$	I–II	I–III
с многолетнемерзлым грунтом	I	I–II

На участках кабельной линии связи, где вероятная плотность повреждений от ударов молнии больше допустимой, проводят следующие мероприятия: применяют более грозостойкие кабели связи, т.е. кабели с повышенной проводимостью оболочки и других металлопокрывов с повышенной прочностью изоляции, прокладывают грозозащитные тросы над кабелем на половине глубины его погружения в грунт.

Помимо грозового электричества, на работу цепей связи могут оказывать неблагоприятное воздействие магнитные бури. Последние имеют место в результате резкого изменения в отдельные периоды времени напряженности магнитного поля земли и появления значительных разностей потенциалов между удаленными точками земной поверхности.

Влияние линий электропередачи

Электроэнергия в основном передается по ВВЛ переменного тока (рис. 10.5). На ВВЛ переменного тока используют, как правило, трехфазный ток.

Напряжения ВВЛ переменного тока: 3,3; 6,6; 11; 35; 220; 500 и 750 кВ.

Режимы работы ВВЛ:

- симметричный с изолированной нейтралью (рис. 10.6,а) или с заземленной нейтралью;
- несимметричный по схеме «два провода- земля».

Линии с изолированной нейтралью применяются при напряжениях не выше 35 кВ. При больших напряжениях, исходя из техники безопасности, нейтрали обязательно заземляются.

Влияния, оказываемые ВВЛ на НСЭ, могут быть электрическими и магнитными. Симметричные системы обладают высоким потенциалом и создают большие электрические воздействия ($U \rightarrow E$). Несимметричные системы (с заземленной фазой) в аварийном режиме имеют большой уравнивающий ток и являются источником сильных магнитных воздействий ($I \rightarrow H$). Заземленные ВВЛ оказывают гальваническое влияние.

Отметим, что НСЭ находятся под влиянием ВВЛ как переменного тока, так и постоянного. Первые влияют в основном на частоте 50 Гц и на высших гармониках (главным образом в тональном диапазоне частот). Влияние вторых обусловлено наличием пульсирующих составляющих при выпрямлении тока преимущественно ртутными выпрямителями. Влияние гармонических составляющих распространяется на диапазон порядка 30 кГц и ухудшает качество работы систем передачи.

Сравнивая агрессивное воздействие ВВЛ переменного и постоянного токов на НСЭ, можно отметить, что первые действуют гораздо сильнее, чем вторые, и требуют отхода линий связи на значительное расстояние. По диапазону частот наиболее вредное воздействие оказывают ЛВН постоянного тока.

Влияние радиостанций на направляющие системы электросвязи

Радиостанции (РС) оказывают мешающее влияние на высокочастотные каналы связи, если их рабочие частоты совпадают с диапазоном ВЧ систем.

На НСЭ оказывают непосредственное влияние радиостанции сверхдлинноволнового диапазона (частоты 3...30 кГц), длинноволнового (30...300 кГц) и средневолнового (300...3000 кГц). Больше всего подвержены влиянию радиостанций вертикальные провода (вводы цепей в станцию). Наиболее мощными радиостанциями являются вещательные и телеграфные станции, работающие на большие расстояния.

Степень мешающего влияния радиостанций на цепи связи зависит от многих причин: излучаемой мощности, расположения трассы линии связи по отношению к влияющей радиостанции, проводимости земли, коэффициента чувствительности цепи связи к помехам.

Природа влияния радиостанций на НСЭ состоит в следующем. Радиостанции создают вертикальную составляющую электромагнитного поля E_0 , мВ/м, затухающую по закону

$$E_v = \frac{2,45\sqrt{P_{из}}}{r} F e^{-k_d r},$$

где $P_{из}$ — мощность, излучаемая радиопередатчиком, Вт; k_d - волновое число для воздуха; F — коэффициент ослабления поля за счет земли; r — расстояние от радиостанции до линии, м.

За счет конечной проводимости земли появляется горизонтальная составляющая поля, мВ/м,

$$E_r = \frac{E_v}{\sqrt{60\lambda\sigma_3}},$$

где λ — длина волны, м; σ_3 — проводимость земли, Ом/м.

Эта горизонтальная составляющая поступает в линию и является источником помех. Чем выше частота и меньше проводимость грунта, тем больше E_r и мешающее влияние в кабеле. Наибольшее влияние оказывается при прохождении кабеля в грунтах с большим сопротивлением (песке, суглинке, скальных породах).

Существенно сказывается взаимное расположение ЛС и радиостанции. При перпендикулярном расположении НСЭ относительно РС влияние минимально. Максимальное влияние происходит при прохождении трассы кабеля в створе действия РС.

В общем виде при любом расположении трассы кабеля относительно РС влияние может быть определено по формуле

$$E_{r\varphi} = \frac{2,45\sqrt{P_{из}}}{\sqrt{60\lambda\sigma_3}} \frac{r}{r^2 + a^2} Fe^{-k_1(r^2/l)},$$

где a — кратчайшее расстояние от РС до НСЭ, м; r — длина кабеля, м.

Различные типы НСЭ в зависимости от конструкции и их экранирующих свойств в разной степени подвержены влияниям. Установлены примерно следующие зоны мешающего влияния РС на различные типы линий связи:

- коаксиальный кабель - не менее 1 км;
- симметричный кабель
- в свинцовой оболочке - 7,7 км;
- в алюминиевой оболочке - 1,3 км;
- в стальной оболочке - 3,3 км.

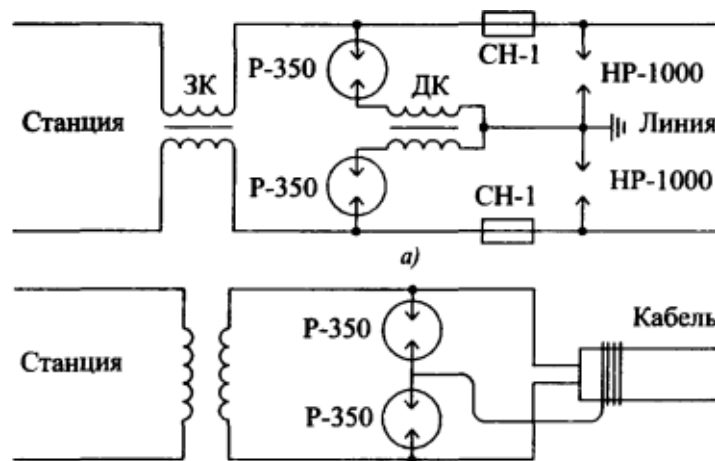
Для защиты направляющих систем связи от внешних влияний используют следующие меры

Источник внешнего влияния	Характер влияния	Мероприятия, проводимые на линиях	
		влияющих	связи
ВВЛ	Опасные и мешающие поля Е и Н	1. Автоматическое отключение ВВЛ 2. Сглаживающие фильтры 3. Экранирующие тросы 4. Разземление нейтрали 5. Токоограничивающие устройства	1. Относ трассы 2. Каблирование 3. Скрещивание и симметрирование 4. Экранирование 5. Разрядники и предохранители, варисторы, лавинные диоды 6. Заземление 7. Нейтрализующие редукционные и разделительные трансформаторы
Атмосферное электричество	Опасное поле Е		1. Молниеотводы на воздушных ЛС 2. Тросы на кабельных ЛС 3. Каскадная защита 4. Разрядники и предохранители, варисторы, лавинные диоды
РС	Мешающие поля Е и Н	Выбор несущей частоты	1. Относ трассы 2. Каблирование 3. Скрещивание и симметрирование 4. Фильтры и запирающие катушки

Из анализа влияний и схем защиты можно сделать вывод, что наибольшей защиты требуют воздушная линия, базовые станции СМС и сеть ГТС. На междугородной кабельной линии для защиты устанавливается лишь один разрядник. Разрядники делятся на газонаполненные и искровые. Для сетей с дистанционным электропитанием применяются вилитовые разрядники, а на сетях ГТС газонаполненные и угольные. Наибольшее применение получили на междугородных кабельных линиях связи разрядники Р-35, РВ-500, на городских сетях — Р-27. На воздушных линиях применяются разрядники Р-350 и Р-35.

Основные характеристики разрядников приведены в табл., схема включения приведена на рис.

Параметр	Р-35	Р-350	Р-4
Напряжение пробоя, В	350±40	350±40	70..80
Напряжение погасания, В	40...80	—	—
Допустимый ток, А	15	3	0,1
Сопротивление изоляции, МОм	5000	5000	1
Долговечность, число разрядов	25	5	1000
Габаритные размеры, мм	75×22	65×35	20×7,5



Для повышения надежности защиты и сохранения газонаполненных разрядников от разрушения перед ними устанавливают искровые разрядники, которые монтируют на держателях газонаполненных разрядников. Пробивное напряжение разрядников зависит от величины искрового промежутка.

Для защиты станционной аппаратуры и разрядников от опасных токов, возникающих при случайных соприкосновениях провода линии связи с проводом линии сильного тока, применяются предохранители на номинальный ток 1 и 0,15 А типа СН — спиральные с ножевыми наконечниками или типа СК — с коническими наконечниками.

При прямых ударах молнии в воздушную линию связи в проводах появляются очень большие напряжения — до 1200 кВ. Схемы защиты с одним разрядником не могут обеспечить надежную защиту аппаратуры связи от таких больших напряжений. Поэтому в целях снижения величины опасных напряжений применяют дополнительную, так называемую каскадную (ступенчатую) защиту. При такой защите через определенные расстояния на подходе воздушной линии к защищаемому сооружению подключают искровые разрядники ИР-7, ИР-10 и т.д. (цифра указывает величину воздушной промежутка между электродами).

При появлении перед искровыми разрядниками электромагнитной волны с большой амплитудой срабатывает первый искровой разрядник ИР-20, рассчитанный на очень высокое напряжение, и затем в зависимости от амплитуда волны — последующие разрядники, что значительно уменьшает амплитуду падающей волны и ограничивает поступающее на станцию напряжение.

Опоры воздушных линий связи защищают от разрушений при прямых ударах молнии стержневыми молниеотводами.

Необходимость грозозащиты кабеля связи определяют расчетом по ожидаемому числу повреждений от ударов молнии на 100 км трассы. Ожидаемое число повреждений может быть определено в зависимости от числа грозовых дней в году для каждой местности.

Защитная способность кабелей связи от воздействия грозы, т.е. их грозостойкость, характеризуется параметром добротности, A км,

$$Q = U/R,$$

где U — электрическая прочность кабеля, кВ; R - сопротивление оболочки постоянному току, Ом/км.

Чем больше U и меньше R , тем выше грозостойкость кабеля. Для различных типов кабелей грозостойкость характеризуется следующим данными, представленными в табл.

Параметр	Тип кабеля						
	Симметричный					Коаксиальный	
	МКС	МКСА	МКСС	МКП	МКПА	КМ	КМА
U , кВ	1,3	1,3	1,3	25	25	3,7	3,7
R , Ом/км	2,1	0,4	2,5	2,1	0,4	1,5	0,3
Q , А·км	0,62	3,24	0,52	12	62,5	2,46	12,3

Из приведенных данных следует, что наибольшей грозостойкостью обладают кабели со сплошной полиэтиленовой изоляцией в алюминиевой оболочке. Такие кабели имеют высокую электрическую прочность и малое сопротивление оболочки (высокое экранирующее действие).

Из представленных в таблице кабелей лучше других симметричный кабель МКПА ($Q = 62,5$) и коаксиальный КМА ($Q = 12,3$).

Заземление — это устройство, состоящее из заземлителей и проводников, соединяющих заземлители с электрическими установками связи. Заземлителем называют проводник или группу проводников, выполненных из проводящего материала и находящихся в непосредственном соприкосновении с грунтом. Заземлители могут быть любой формы — в виде трубы, стержня, полосы, листа, и т.д.

В зависимости от выполняемых заземлениями функций различают рабочее, защитное и линейно-защитное заземления.

В технике связи рабочим заземлением называют устройство, предназначенное для соединения аппаратуры с землей, служащей одним из проводников электрической цепи. К защитным относятся заземления, предназначенные для соединения с землей приборов защиты (молниеотводов, разрядников), а также металлических частей силового оборудования. Линейно-защитными заземлениями называют устройства для заземления металлических оболочек и экранов кабелей.

Отношение потенциала заземлителя к стекающему с него току называется сопротивлением заземления: $R_z = U_z/Z_z$. Сопротивление заземления зависит от удельного сопротивления грунта и площади соприкосновения заземлителей с землей. Нормы сопротивления заземлений для различных установок проводной связи приведены в ГОСТ.

По своей конструкции заземлители разделяются на вертикальные стержневые, горизонтальные протяженные, кольцевые, пластинчатые и глубинные. Чаще всего применяются вертикальные заземлители трубчатого типа (см. рис.).

имеет выраженный характер электрического или магнитного вблизи своего источника — на расстоянии порядка длины волны. Для частоты 10^9 Гц длина волны составляет 0,3 м, а для частоты 10^6 Гц — 300 м. Поэтому во многих случаях экранирования приходится иметь дело с преимущественным влиянием электрического или магнитного поля.

На расстоянии примерно более пяти-шести длин волн от источника поле распространяется в виде плоской волны. Особенностью плоской волны является то, что энергия в ней разделена на равные части между электрической и магнитной компонентами.

Сильные магнитные поля, как правило, присущи цепям с низким волновым сопротивлением, большим током и малым перепадом напряжений. Интенсивные электрические поля создаются в цепях с большим сопротивлением, высоким напряжением и малым током.

Для плоской волны в свободном пространстве волновое сопротивление равно $Z_0 = 376,7$ Ом. Для поля с преобладающей электрической компонентой волновое сопротивление существенно больше ($Z_d^E > Z_0$), а для магнитного поля существенно меньше ($Z_d^H < Z_0$) значения волнового сопротивления для плоской волны.

В технике связи и радиоэлектронике принято оценивать экраны не через коэффициент экранирования, а через экранное затухание A_ϵ , дБ, характеризующее величину затухания, вносимого экраном.

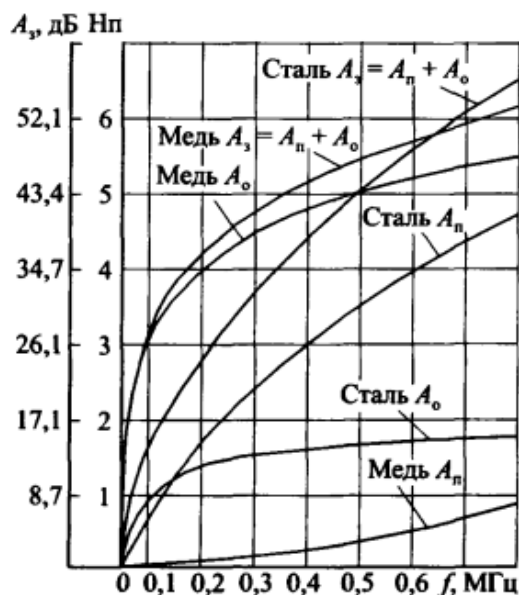
Формула расчета A_ϵ справедлива в широком диапазоне частот от нуля до СВЧ и при любом режиме использования экранов (электро- магнито- статическом, электромагнитном, волновом). Формула расчета экранного затухания состоит из двух частей:

$$A_\epsilon = A_n + A_0,$$

где $A_n = 20 \ln[ch(k_M \Delta)]$ — затухание поглощения; $A_0 = 20 \lg(1 + 0,5(Z_d/Z_M)th(k_M \Delta))$ — затухание отражения; k_M — волновое число в металле (коэффициент вихревых токов); Δ — толщина экрана; $Z_d = 120\pi\sqrt{1/\epsilon}$ — волновое сопротивление диэлектрика, $Z_M = \sqrt{i\omega\mu\mu_0/\sigma}$ — волновое сопротивление металла.

Магнитные экраны при постоянном токе и в области низких частот действуют как магнитоэлектрические по принципу замыкания магнитного поля в толще экрана вследствие повышенной магнитопроводности последнего. С ростом частоты возрастает роль вихревых токов, магнитное поле вытесняется из толщи экрана и его повышенная магнитопроводность теряет свое значение. Экран переходит в электромагнитный режим работы и действует так же, как немагнитный экран, — за счет вихревых токов в толще экрана. Немагнитные экраны во всем частотном спектре действуют как электромагнитные, т.е. по принципу возникновения в них вихревых токов. При постоянном токе они не обладают электромагнитными экранирующими свойствами. С ростом частоты экранирующий эффект возрастает.

График частотной зависимости экранного затухания магнитного и немагнитного экранов приведен на след. рис.



На графике видны три характерные частотные зоны. В первой зоне от 0 до 10 кГц магнитный экран работает в магнитоэлектростатическом режиме и обладает лучшими экранирующими свойствами, чем немагнитный экран. Во второй и третьей зонах оба экрана находятся в электромагнитном режиме. Но во второй зоне от f до 10^6 Гц немагнитный экран имеет больший экранирующий эффект, чем магнитный, а в третьей зоне от $f > 10^6$ Гц и выше из графика явно видно превосходство стального экрана.