

Гибкий планговый кабель упрощенной конструкции на скобах, передвигающихся по стальному тросу (рисунок П9.2, а), как простое и дешевое устройство должен применяться в любых средах, кроме взрывоопасных, для всех кранов, кран-балок и передаточных тележек при длине подкранового пути 36—42 м, если этому не препятствуют условия и строительные конструкции.

Гибкие провода и кабели желательно применять с алюминиевыми жилами. В пожароопасных зонах классов П-I и П-II и во взрывоопасных зонах всех классов должны применяться кабели с медными жилами.

Сечение жилы, мм ²	Сечение жилы, мм ²	Сечение жилы, мм ²	Сечение жилы, мм ²
110	110	110	110
120	120	120	120
130	130	130	130
140	140	140	140
150	150	150	150
160	160	160	160
170	170	170	170
180	180	180	180
190	190	190	190
200	200	200	200
210	210	210	210
220	220	220	220
230	230	230	230
240	240	240	240
250	250	250	250
260	260	260	260
270	270	270	270
280	280	280	280
290	290	290	290
300	300	300	300

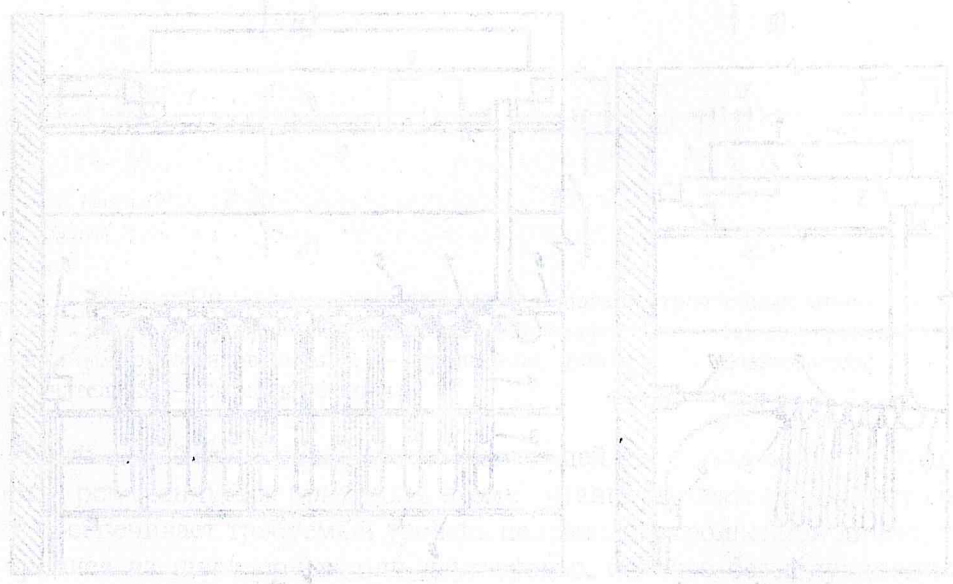


Рисунок П9.2. Гибкий планговый кабель упрощенной конструкции на скобах, передвигающихся по стальному тросу. а — вид с скобой; б — вид без скобы. 1 — скоба; 2 — скоба; 3 — скоба; 4 — скоба; 5 — скоба; 6 — скоба; 7 — скоба; 8 — скоба; 9 — скоба; 10 — скоба.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Область применения. Определения.

Питающая осветительная сеть - сеть от распределительного устройства подстанции или ответвления от воздушных линий электропередачи до ВУ, ВРУ, ГРЩ.

Распределительная сеть - сеть от ВУ, ВРУ, ГРЩ до распределительных пунктов, щитков и пунктов питания наружного освещения.

Групповая сеть - сеть от щитков до светильников, штепсельных розеток и других электроприемников.

Пункт питания наружного освещения - электрическое распределительное устройство для присоединения групповой сети наружного освещения к источнику питания.

Фаза ночного режима - фаза питающей или распределительной сети наружного освещения, не отключаемая в ночные часы.

Каскадная система управления наружным освещением - система, осуществляющая последовательное включение (отключение) участков групповой сети наружного освещения.

Провода зарядки светильника - провода, прокладываемые внутри светильника от установленных в нем контактных зажимов или штепсельных разъемов для присоединения к сети (для светильника, не имеющего внутри контактных зажимов или штепсельного разъема, - провода или кабели от места присоединения светильника к сети) до установленных в светильнике аппаратов и ламповых патронов.

Общие требования.

Нормы освещенности, ограничения слепящего действия светильников, пульсаций освещенности и другие качественные показатели осветительных установок, виды и системы освещения должны приниматься согласно требованиям СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" и другим нормативным документам, утвержденным или согласованным с Госстроем (Минстроем) РФ и министерствами и ведомствами Российской Федерации в установленном порядке.

Светильники должны соответствовать требованиям норм пожарной безопасности НПБ 249-97 "Светильники. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний".

Для электрического освещения следует, как правило, применять разрядные лампы низкого давления (например люминесцентные), лампы высокого давления (например металлогалогенные типа ДРИ, ДРИЗ, натриевые типа ДНаТ, ксеноновые типов ДКсТ, ДКсТЛ, ртутно-вольфрамовые, ртутные типа ДРЛ). Допускается использование и ламп накаливания.

Применение для внутреннего освещения ксеноновых ламп типа ДКсТ (кроме ДКсТЛ) допускается с разрешения Госсанинспекции и при условии, что горизонтальная освещенность на уровнях, где возможно длительное пребывание людей, не превышает 150 лк, а места нахождения крановщиков экранированы от прямого света ламп.

При применении люминесцентных ламп в осветительных установках должны соблюдаться следующие условия для обычного исполнения светильников:

1. Температура окружающей среды не должна быть ниже 5 °С.
2. Напряжение у осветительных приборов должно быть не менее 90% номинального.

Для аварийного освещения рекомендуется применять светильники с лампами накаливания или люминесцентными.

Разрядные лампы высокого давления допускается использовать при обеспечении их мгновенного зажигания и перезажигания.

Для питания осветительных приборов общего внутреннего и наружного освещения, как правило, должно применяться напряжение не выше 220 В переменного или постоянного тока. В

помещениях без повышенной опасности напряжение 220 В может применяться для всех стационарно установленных осветительных приборов вне зависимости от высоты их установки.

Напряжение 380 В для питания осветительных приборов общего внутреннего и наружного освещения может использоваться при соблюдении следующих условий:

1. Ввод в осветительный прибор и независимый, не встроенный в прибор, пускорегулирующий аппарат выполняется проводами или кабелем с изоляцией на напряжение не менее 660 В.

2. Ввод в осветительный прибор двух или трех проводов разных фаз системы 660/380 В не допускается.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при высоте установки светильников общего освещения над полом или площадкой обслуживания менее 2,5 м применение светильников класса защиты 0 запрещается, необходимо применять светильники класса защиты 2 или 3. Допускается использование светильников класса защиты 1, в этом случае цепь должна быть защищена устройством защитного отключения (УЗО) с током срабатывания до 30 мА.

Указанные требования не распространяются на светильники, обслуживаемые с кранов. При этом расстояние от светильников до настила моста крана должно быть не менее 1,8 м или светильники должны быть подвешены не ниже нижнего пояса ферм перекрытия, а обслуживание этих светильников с кранов должно выполняться с соблюдением требований техники безопасности.

В установках освещения фасадов зданий, скульптур, монументов, подсвета зелени с использованием осветительных приборов, установленных ниже 2,5 м от поверхности земли или площадки обслуживания, может применяться напряжение до 380 В при степени защиты осветительных приборов не ниже IP54.

В установках освещения фонтанов и бассейнов номинальное напряжение питания погружаемых в воду осветительных приборов должно быть не более 12 В.

Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания должны применяться напряжения: в помещениях без повышенной опасности - не выше 220 В и в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных - не выше 50 В. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных допускается напряжение до 220 В для светильников, в этом случае должно быть предусмотрено или защитное отключение линии при токе утечки до 30 мА, или питание каждого светильника через разделяющий трансформатор (разделяющий трансформатор может иметь несколько электрически не связанных вторичных обмоток).

Для питания светильников местного освещения с люминесцентными лампами может применяться напряжение не выше 220 В. При этом в помещениях сырых, особо сырых, жарких и с химически активной средой применение люминесцентных ламп для местного освещения допускается только в арматуре специальной конструкции.

Лампы ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ и ДНаТ могут применяться для местного освещения при напряжении не выше 220 В в арматуре, специально предназначенной для местного освещения.

Для питания переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных должно применяться напряжение не выше 50 В.

При наличии особо неблагоприятных условий, а именно когда опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением с большими металлическими, хорошо заземленными поверхностями (например, работа в котлах), и в наружных установках для питания ручных светильников должно применяться напряжение не выше 12 В.

Переносные светильники, предназначенные для подвешивания, настольные, напольные и т.п. приравниваются при выборе напряжения к стационарным светильникам местного стационарного освещения (п. 6.1.16).

Для переносных светильников, устанавливаемых на переставных стойках на высоте 2,5 м и

более, допускается применять напряжение до 380 В.

Питание светильников напряжением до 50 В должно производиться от разделяющих трансформаторов или автономных источников питания.

Допустимые отклонения и колебания напряжения у осветительных приборов не должны превышать указанных в ГОСТ 13109-87 "Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения".

Питание силовых и осветительных электроприемников при напряжении 380/220 В рекомендуется производить от общих трансформаторов при условии соблюдения требований п. 6.1.19.

Аварийное освещение.

Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности предназначено для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.

Светильники рабочего освещения и светильники освещения безопасности в производственных и общественных зданиях и на открытых пространствах должны питаться от независимых источников.

Светильники и световые указатели эвакуационного освещения в производственных зданиях с естественным освещением и в общественных и жилых зданиях должны быть присоединены к сети, не связанной с сетью рабочего освещения, начиная от щита подстанции (распределительного пункта освещения) или, при наличии только одного ввода, начиная от вводного распределительного устройства.

Питание светильников и световых указателей эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного освещения следует выполнять аналогично питанию светильников освещения безопасности.

В производственных зданиях без естественного света в помещениях, где может одновременно находиться 20 человек и более, независимо от наличия освещения безопасности должно предусматриваться эвакуационное освещение по основным проходам и световые указатели "выход", автоматически переключаемые при прекращении их питания на третий независимый внешний или местный источник (аккумуляторная батарея, дизель-генераторная установка и т.п.), не используемый в нормальном режиме для питания рабочего освещения, освещения безопасности и эвакуационного освещения, или светильники эвакуационного освещения и указатели "выход" должны иметь автономный источник питания.

При отнесении всех или части светильников освещения безопасности и эвакуационного освещения к особой группе первой категории по надежности электроснабжения необходимо предусматривать дополнительное питание этих светильников от третьего независимого источника.

Светильники эвакуационного освещения, световые указатели эвакуационных и (или) запасных выходов в зданиях любого назначения, снабженные автономными источниками питания, в нормальном режиме могут питаться от сетей любого вида освещения, не отключаемых во время функционирования зданий.

Для помещений, в которых постоянно находятся люди или которые предназначены для постоянного прохода персонала или посторонних лиц и в которых требуется освещение безопасности или эвакуационное освещение, должна быть обеспечена возможность включения указанных видов освещения в течение всего времени, когда включено рабочее освещение, или освещение безопасности и эвакуационное освещение должны включаться автоматически при аварийном погасании рабочего освещения.

Применение для рабочего освещения, освещения безопасности и (или) эвакуационного освещения общих групповых щитков, а также установка аппаратов управления рабочим освещением, освещением безопасности и (или) эвакуационным освещением, за исключением

аппаратов вспомогательных цепей (например, сигнальных ламп, ключей управления), в общих шкафах не допускается.

Разрешается питание освещения безопасности и эвакуационного освещения от общих щитков.

Использование сетей, питающих силовые электроприемники, для питания освещения безопасности и эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного освещения не допускается.

Допускается применение ручных осветительных приборов с аккумуляторами или сухими элементами для освещения безопасности и эвакуационного освещения взамен стационарных светильников (здания и помещения без постоянного пребывания людей, здания площадью застройки не более 250 м^2).

Выполнение и защита осветительных сетей.

Сечение нулевых рабочих проводников трехфазных питающих и групповых линий с лампами люминесцентными, ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ при одновременном отключении всех фазных проводов линии должно выбираться:

1. Для участков сети, по которым протекает ток от ламп с компенсированными пускорегулирующими аппаратами, равным фазному независимо от сечения.

2. Для участков сети, по которым протекает ток от ламп с некомпенсированными пускорегулирующими аппаратами, равным фазному при сечении фазных проводников менее или равном 16 мм^2 для медных и 25 мм^2 для алюминиевых проводов и не менее 50% сечения фазных проводников при больших сечениях, но не менее 16 мм^2 для медных и 25 мм^2 для алюминиевых проводов.

При защите трехфазных осветительных питающих и групповых линий предохранителями или однополюсными автоматическими выключателями при любых источниках света сечение нулевых рабочих проводников следует принимать равным сечению фазных проводников.

При выборе токов аппаратов защиты должны учитываться пусковые токи при включении мощных ламп накаливания и ламп ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ.

Аппараты защиты следует располагать по возможности группами в доступных для обслуживания местах. Рассредоточенная установка аппаратов защиты допускается при питании освещения от шинпроводов.

Трансформаторы, используемые для питания светильников до 50 В, должны быть защищены со стороны высшего напряжения. Защита должна быть предусмотрена также на отходящих линиях низшего напряжения.

Если трансформаторы питаются отдельными группами от щитков и аппарат защиты на щитке обслуживает не более трех трансформаторов, то установка дополнительных аппаратов защиты со стороны высшего напряжения каждого трансформатора необязательна.

Установка предохранителей, автоматических и неавтоматических однополюсных выключателей в нулевых рабочих проводах в сетях с заземленной нейтралью запрещается.

Защитные меры безопасности.

Защитное заземление металлических корпусов светильников общего освещения с лампами накаливания и с лампами люминесцентными, ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, натриевыми со встроенными внутрь светильника пускорегулирующими аппаратами следует осуществлять:

1. В сетях с заземленной нейтралью - присоединением к заземляющему винту корпуса светильника РЕ проводника.

Заземление корпуса светильника ответвлением от нулевого рабочего провода внутри

светильника запрещается.

В сетях с изолированной нейтралью, а также в сетях, переключаемых на питание от аккумуляторной батареи, - присоединением к заземляющему винту корпуса светильника защитного проводника.

При вводе в светильник проводов, не имеющих механической защиты, защитный проводник должен быть гибким.

Защитное заземление корпусов светильников общего освещения с лампами ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ и люминесцентными с вынесенными пускорегулирующими аппаратами следует осуществлять при помощи перемычки между заземляющим винтом заземленного пускорегулирующего аппарата и заземляющим винтом светильника.

Металлические отражатели светильников с корпусами из изолирующих материалов заземлять не требуется.

Защитное заземление металлических корпусов светильников местного освещения на напряжение выше 50 В должно удовлетворять следующим требованиям:

1. Если защитные проводники присоединяются не к корпусу светильника, а к металлической конструкции, на которой светильник установлен, то между этой конструкцией, кронштейном и корпусом светильника должно быть надежное электрическое соединение.

2. Если между кронштейном и корпусом светильника нет надежного электрического соединения, то оно должно быть осуществлено при помощи специально предназначенного для этой цели защитного проводника.

В помещениях без повышенной опасности производственных, жилых и общественных зданий при напряжении выше 50 В должны применяться переносные светильники класса I по ГОСТ 12.2.007.0-75 "ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности".

Защитные проводники в сетях с заземленной нейтралью в групповых линиях, питающих светильники общего освещения и штепсельные розетки нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не допускается подключать под общий контактный зажим.

При выполнении защитного заземления осветительных приборов наружного освещения должно выполняться также подключение железобетонных и металлических опор, а также тросов к заземлителю в сетях с изолированной нейтралью и к РЕ (PEN) проводнику в сетях с заземленной нейтралью.

При установке осветительных приборов наружного освещения на железобетонных и металлических опорах электрифицированного городского транспорта в сетях с изолированной нейтралью осветительные приборы и опоры заземлять не допускается, в сетях с заземленной нейтралью осветительные приборы и опоры должны быть подсоединены к PEN проводнику линии.

ВНУТРЕННЕЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Общие требования.

Светильники с люминесцентными лампами должны применяться с пускорегулирующими аппаратами, обеспечивающими коэффициент мощности не ниже 0,9 при светильниках на две лампы и более и 0,85 при одноламповых светильниках.

Для ламп типа ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ может применяться как групповая, так и индивидуальная компенсация реактивной мощности. При наличии технико-экономических обоснований допускается применение указанных ламп без устройства компенсации реактивной мощности. При групповой компенсации должны отключаться компенсирующие устройства одновременно с отключением ламп.

Питание светильника местного освещения (без понижающего трансформатора или через понижающий трансформатор) может осуществляться при помощи ответвления от силовой цепи механизма или станка, для которых предназначен светильник.

При этом может не устанавливаться отдельный защитный аппарат в осветительной цепи, если защитный аппарат силовой цепи имеет ток уставки не более 25 А.

Ответвление к светильникам местного освещения при напряжении более 50 В в пределах рабочего места должно выполняться в трубах и коробах из негорючих материалов и других механически прочных конструкциях.

Питание установок оздоровительного ультрафиолетового облучения должно производиться: установок длительного действия - по отдельным групповым линиям от щитков рабочего освещения или самостоятельных групповых щитков; установок кратковременного действия (фотариев) - по отдельным линиям от электросиловой сети или питающей сети рабочего освещения.

Питающая осветительная сеть.

Рабочее освещение рекомендуется питать по самостоятельным линиям от распределительных устройств подстанций, щитов, шкафов, распределительных пунктов, магистральных и распределительных шинопроводов.

6.2.5. Рабочее освещение, освещение безопасности и эвакуационное освещение допускается питать от общих линий с электросиловыми установками или от силовых распределительных пунктов. При этом должны соблюдаться требования к допустимым отклонениям и колебаниям напряжения в осветительной сети в соответствии с ГОСТ 13109-87.

Линии питающей сети рабочего освещения, освещения безопасности и эвакуационного освещения, а также линии, питающие иллюминационные установки и световую рекламу, должны иметь в распределительных устройствах, от которых эти линии отходят, самостоятельные аппараты защиты и управления для каждой линии.

Допускается устанавливать общий аппарат управления для нескольких линий одного вида освещения или установок, отходящих от распределительного устройства.

При использовании шинопроводов в качестве линий питающей осветительной сети вместо групповых щитков могут применяться присоединяемые к шинопроводу отдельные аппараты защиты и управления для питания групп светильников. При этом должен быть обеспечен удобный и безопасный доступ к указанным аппаратам.

В местах присоединения линий питающей осветительной сети к линии питания электросиловых установок или к силовым распределительным пунктам должны устанавливаться аппараты защиты и управления.

При питании осветительной сети от силовых распределительных пунктов, к которым присоединены непосредственно силовые электроприемники, осветительная сеть должна подключаться к вводным зажимам этих пунктов.

Групповая сеть.

Линии групповой сети внутреннего освещения должны быть защищены предохранителями или автоматическими выключателями.

Каждая групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ, в это число включаются также штепсельные розетки.

В производственных, общественных и жилых зданиях на однофазные группы освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий и чердаков допускается присоединять до 60 ламп накаливания, каждая мощностью до 60 Вт.

Для групповых линий, питающих световые карнизы, световые потолки и т.п. с лампами накаливания, а также светильники с люминесцентными лампами мощностью до 80 Вт, рекомендуется присоединять до 60 ламп на фазу; для линий, питающих светильники с люминесцентными лампами мощностью до 40 Вт включительно, может присоединяться до 75 ламп на фазу и мощностью до 20 Вт включительно - до 100 ламп на фазу.

Для групповых линий, питающих многоламповые люстры, число ламп любого типа на фазу не ограничивается.

В групповых линиях, питающих лампы мощностью 10 кВт и больше, каждая лампа должна иметь самостоятельный аппарат защиты.

В начале каждой групповой линии, в том числе питаемой от шинпроводов, должны быть установлены аппараты защиты на всех фазных проводниках. Установка аппаратов защиты в нулевых защитных проводниках запрещается.

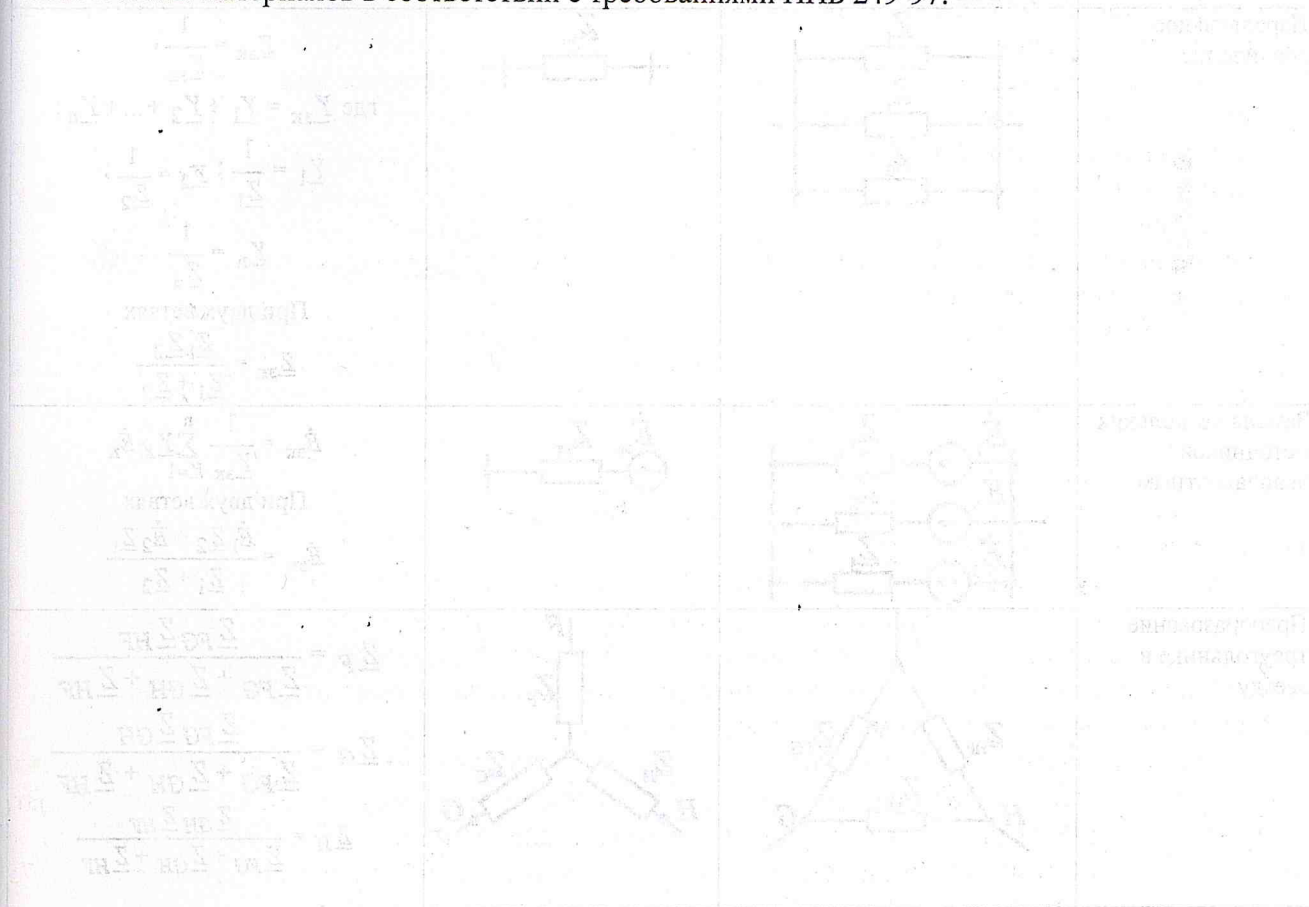
Рабочие нулевые проводники групповых линий должны прокладываться при применении металлических труб совместно с фазными проводниками в одной трубе, а при прокладке кабелями или многожильными проводами должны быть заключены в общую оболочку с фазными проводами.

Совместная прокладка проводов и кабелей групповых линий рабочего освещения с групповыми линиями освещения безопасности и эвакуационного освещения не рекомендуется.

Допускается их совместная прокладка на одном монтажном профиле, в одном коробе, лотке при условии, что приняты специальные меры, исключающие возможность повреждения проводов освещения безопасности и эвакуационного при неисправности проводов рабочего освещения, в корпусах и штангах светильников.

Светильники рабочего освещения, освещения безопасности или эвакуационного освещения допускается питать от разных фаз одного трехфазного шинпровода при условии прокладки к шинпроводу самостоятельных линий для рабочего освещения и освещения безопасности или эвакуационного освещения.

Светильники, устанавливаемые в подвесные потолки из горючих материалов, должны иметь между местами их примыкания к конструкции потолка прокладки из негорючих теплоустойчивых материалов в соответствии с требованиями НПБ 249-97.



ПРИЛОЖЕНИЕ П11 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИСХОДНОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ В ЭКВИВАЛЕНТНУЮ РЕЗУЛЬТИРУЮЩУЮ

При аналитических расчетах токов КЗ исходные схемы замещения, в которых представлены различные элементы исходных расчетных схем, следует путем последовательных преобразований приводить к эквивалентным результирующим схемам замещения, содержащим эквивалентную ЭДС (в схемах прямой последовательности), эквивалентное результирующее сопротивление соответствующей последовательности и источник напряжения одноименной последовательности, а при трехфазном КЗ - точку КЗ.

Если исходная схема замещения не содержит замкнутых контуров, то она легко преобразуется в эквивалентную результирующую схему путем последовательного и параллельного соединения элементов и путем замены нескольких источников, имеющих разные ЭДС и разные сопротивления, но присоединенных в одной точке, одним эквивалентным источником. При более сложных исходных схемах замещения для определения эквивалентного результирующего сопротивления следует использовать известные способы преобразования, такие как преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду сопротивлений, звезду сопротивлений в эквивалентный треугольник сопротивлений, многолучевую звезду сопротивлений в полный многоугольник сопротивлений и т.д. Формулы для таких преобразований приведены в табл. П11.1.

Таблица П11.1. Основные формулы преобразования схем

Вид преобразования	Исходная схема	Преобразованная схема	Сопротивление элементов преобразованной схемы
Последовательное соединение			$Z_{эк} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$
Параллельное соединение			$Z_{эк} = \frac{1}{Y_{эк}}$ где $Y_{эк} = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n$; $Y_1 = \frac{1}{Z_1}; Y_2 = \frac{1}{Z_2}$; $Y_n = \frac{1}{Z_n}$ При двух ветвях $Z_{эк} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$
Замена нескольких источников эквивалентным			$\dot{E}_{эк} = \frac{1}{Y_{эк}} \sum_{K=1}^n Y_K \dot{E}_K$ При двух ветвях $\dot{E}_{эк} = \frac{\dot{E}_1 Z_2 + \dot{E}_2 Z_1}{Z_1 + Z_2}$
Преобразование треугольника в звезду			$Z_F = \frac{Z_{FG} Z_{HF}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$ $Z_G = \frac{Z_{FG} Z_{GH}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$ $Z_H = \frac{Z_{GH} Z_{HF}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$

Преоб-
трех-
звезд
треуг

Преоб
много
звезд
много

или Г
опре-
путе
заме-
кото

явля-
сопр
прил
же Э

Преобразование трех-лучевой звезды в треугольник		$\underline{Z}_{FG} = \underline{Z}_F + \underline{Z}_G + \frac{\underline{Z}_F \underline{Z}_G}{\underline{Z}_H}$ $\underline{Z}_{GH} = \underline{Z}_G + \underline{Z}_H + \frac{\underline{Z}_G \underline{Z}_H}{\underline{Z}_F}$ $\underline{Z}_{HF} = \underline{Z}_H + \underline{Z}_F + \frac{\underline{Z}_H \underline{Z}_F}{\underline{Z}_G}$
Преобразование много-лучевой звезды в полный много-угольник		$\underline{Z}_{FG} = \underline{Z}_F \underline{Z}_G \sum \underline{Y}$ $\underline{Z}_{GH} = \underline{Z}_G \underline{Z}_H \sum \underline{Y}$ <p>где $\sum \underline{Y} = \underline{Y}_F + \underline{Y}_G + \underline{Y}_H + \underline{Y}_J$ Аналогично и при большем числе ветвей</p>

В тех случаях, когда исходная расчетная схема симметрична относительно точки КЗ или какая-либо ее часть симметрична относительно некоторой промежуточной точки, то задачу определения эквивалентного результирующего сопротивления можно существенно облегчить путем соединения на исходной расчетной схеме (и соответственно на исходной схеме замещения) точек, имеющих одинаковые потенциалы, и исключения из схемы тех элементов, которые при КЗ оказываются обесточенными.

Если в исходной схеме замещения одним из лучей трехлучевой звезды сопротивлений является сопротивление источника энергии, то в ряде случаев целесообразно звезду сопротивлений заменить на треугольник и затем последний разрезать по вершине, к которой приложена ЭДС, подключив при этом на каждом из оказавшихся свободными концов ветвей ту же ЭДС.

ПРИЛОЖЕНИЕ П12

КОМПЛЕКСНАЯ НАГРУЗКА

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПЛЕКСНЫХ НАГРУЗОК

При расчете токов КЗ от комплексных нагрузок следует учитывать их параметры прямой, обратной и нулевой последовательностей. Рекомендуемые значения сопротивлений прямой (Z_1) и обратной (Z_2) последовательностей отдельных элементов комплексной нагрузки приведены в табл. П12.1. Значения модулей полных сопротивлений прямой ($Z_{1НГ}$), обратной ($Z_{2НГ}$) и нулевой ($Z_{0НГ}$) последовательностей некоторых узлов нагрузки в зависимости от их состава допускается определять, как указано в приложении 12 ниже.

Таблица П12.1. Параметры элементов комплексной нагрузки

Потребители комплексной нагрузки	Обозначения на схемах	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	Значения сопротивлений, отн. ед.	
			Z_1^*	Z_2^*
Асинхронные электродвигатели	АД	0,8	$0,07+j0,18$	$0,07+j0,18$
Синхронные электродвигатели	СД	0,9	$0,03+j0,16$	$0,03+j0,16$
Лампы накаливания	ЛН	1,0	1,0	1,33
Газоразрядные источники света	ЛГ	0,85	$0,85+j0,53$	$0,38+j0,24$
Преобразователи	П	0,9	$0,9+j0,44$	$1,66+j0,81$
Электротермические установки	ЭУ	0,9	$1+j0,49$	$0,4+j0,2$

В приближенных расчетах для узлов, содержащих до 70 % асинхронных двигателей, допускается значения модулей полных сопротивлений комплексной нагрузки принимать равными $Z_{1НГ}^* = Z_{2НГ}^* = 0,4$; $Z_{0НГ}^* = 3,0$.

ПАРАМЕТРЫ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ

В состав комплексной нагрузки могут входить асинхронные и синхронные электродвигатели, преобразователи, электротермические установки, конденсаторные батареи, лампы накаливания и газоразрядные источники света.

При определении начального значения периодической составляющей тока КЗ комплексную нагрузку в схему прямой последовательности следует вводить эквивалентной сверхпереходной ЭДС $E_{НГ}''$ и сопротивлением прямой последовательности $Z_{1НГ}$, а в схему обратной и нулевой последовательностей - сопротивлениями обратной $Z_{2НГ}$ и нулевой $Z_{0НГ}$ последовательностей.

Значения модулей полных сопротивлений $Z_{1НГ}$, $Z_{2НГ}$ и $Z_{0НГ}$, а также эквивалентной сверхпереходной ЭДС комплексной нагрузки $E_{НГ}''$ в относительных единицах при отсутствии других, более полных данных, могут быть определены по кривым, приведенным на рис. П12.1, П12.2 в зависимости от относительного состава потребителей узла нагрузки P_i/P_{Σ} , где P_{Σ} - суммарная номинальная активная мощность нагрузки, кВт; P_i - установленная мощность i потребителя нагрузки, кВт ($P_{*АД}$ - асинхронные двигатели, $P_{*СД}$ - синхронные двигатели, $P_{*ЛН}$ - лампы накаливания, $P_{*ЭУ}$ - электротермические установки, $P_{*ЛГ}$ - газонаполненные лампы, $P_{*П}$ - преобразователи).

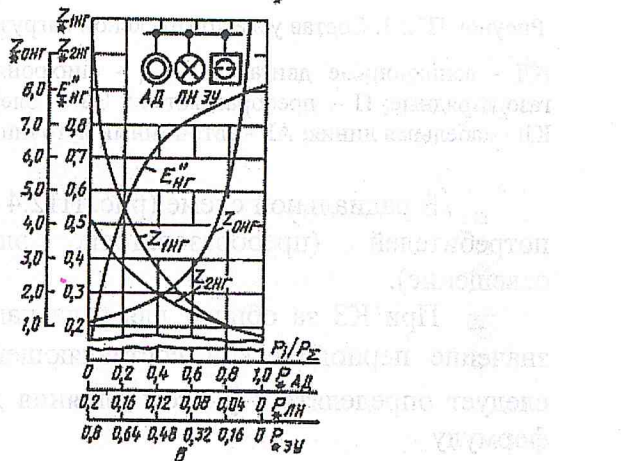
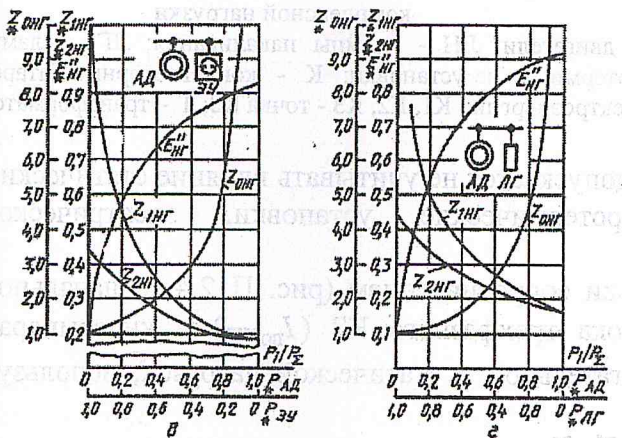
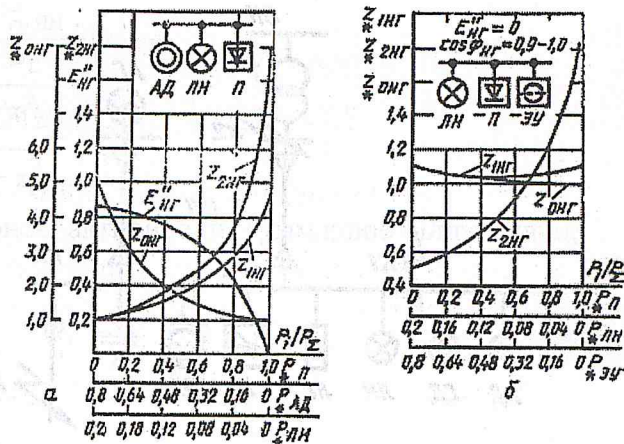
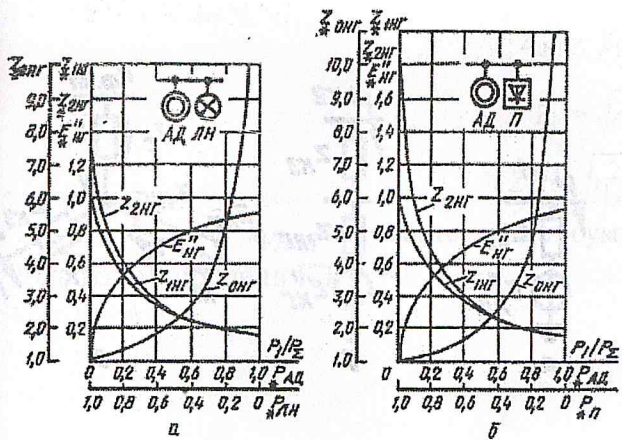


Рисунок П12.1. Зависимость параметров комплексной нагрузки Z_{1NG} , Z_{2NG} , Z_{0NG} , E'_{NG} от ее состава

Рисунок П12.2. Зависимость параметров комплексной нагрузки Z_{1NG} , Z_{2NG} , Z_{0NG} , E'_{NG} от ее состава

Сопротивление прямой (обратной, нулевой) последовательности $Z_{1NGном}$ ($Z_{2NGном}$, $Z_{0NGном}$) в относительных единицах при номинальных условиях допускается рассчитывать по формуле

$$Z_{iNGном} = S_{\Sigma} \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\sqrt{r_i^2 + x_i^2}}}$$

где r_i и x_i - активная и индуктивная составляющие сопротивления прямой (обратной, нулевой) последовательности i -го потребителя, включая составляющие сопротивления элементов, связывающих потребитель с шинами узла (до 1 кВ); их значения в относительных единицах при суммарной номинальной мощности S_{Σ} , кВ/А, и среднем номинальном напряжении той ступени напряжения сети, где она присоединена, приведены в табл. П12.1;

S_i - полная установленная мощность i -го потребителя нагрузки, кВ·А.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ НА ТОК КЗ

Метод учета комплексной нагрузки при расчете тока КЗ зависит от характера исходной схемы замещения комплексной нагрузки (рис. П12.3) и положения точки КЗ (рис. П12.4).

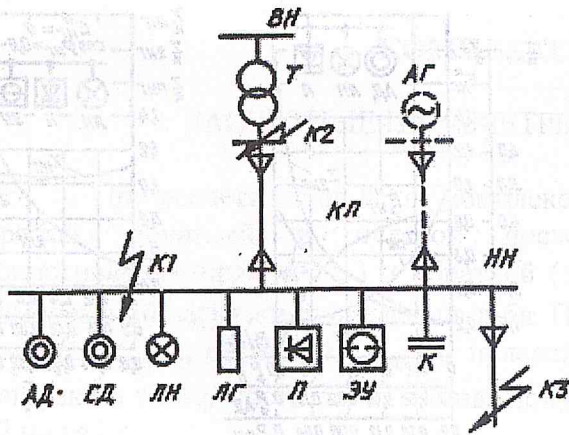


Рисунок П12.3. Состав узла комплексной нагрузки.

АД - асинхронные двигатели; СД - синхронные двигатели; ЛН - лампы накаливания; ЛГ - лампы газоразрядные; П - преобразователи; ЭУ - электротермические установки; К - конденсаторные батареи; КЛ - кабельная линия; АГ - автономный источник электроэнергии; К1, К2, К3 - точка КЗ; Т - трансформатор

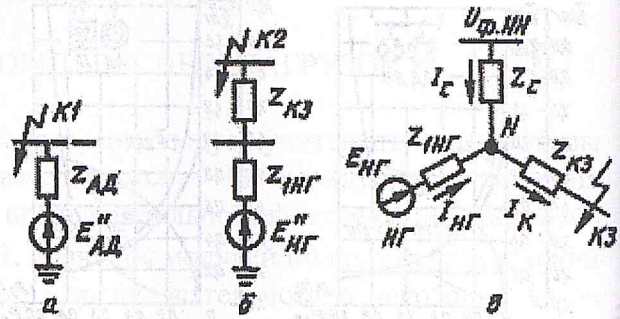


Рисунок П12.4. Преобразование схемы замещения комплексной нагрузки

В радиальной схеме (рис. П12.4 а) допускается не учитывать влияние статических потребителей (преобразователи, электротермические установки, электрическое освещение).

При КЗ за общим для узла нагрузки сопротивлением (рис. П12.4 б) начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ ($I_{поНГ}$) в килоамперах следует определять с учетом влияния двигательной и статической нагрузок, используя формулу

$$I_{поНГ} = \frac{E_{НГ}'' U_{ср.НН}}{\sqrt{3} \sqrt{\left[z_{1НГ} \frac{U_{ср.НН}^2}{S_{\Sigma}} \cos \varphi_{НГ} + r_{1\Sigma} \right]^2 + \left[z_{1НГ} \frac{U_{ср.НН}^2}{S_{\Sigma}} \sin \varphi_{НГ} + x_{1\Sigma} \right]^2}}$$

где $E_{НГ}''$ и $z_{1НГ}$ - эквивалентная ЭДС и сопротивление прямой последовательности узла нагрузки; их значения в относительных единицах определяют по кривым, приведенным на рис. П12.1, П12.2 в зависимости от относительного состава потребителей;

$r_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ - соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление цепи короткого замыкания, мОм;

S_{Σ} - суммарная номинальная мощность нагрузки, кВ·А;

$U_{ср.НН}$ - среднее номинальное напряжение сети, соответствующее обмотке низшего напряжения трансформаторов, В.

При коротком замыкании за общим для нагрузки и системы сопротивлением (рис. П12.4 в) и близких значениях отношения x/r ветвей расчетной схемы начальное значение периодической составляющей тока КЗ ($I_{пок}$) допускается рассчитывать по формуле

$$I_{пок} = \frac{U_{ср.НН} \frac{1}{n_i} Z_{1НГ} + E_{НГ}'' U_{ср.НН} Z_c}{Z_c Z_{1НГ} + Z_c Z_k + Z_{1НГ} Z_k}$$

где $E_{НГ}''$ - ЭДС узла нагрузки;

n_i - коэффициент трансформации трансформатора;

$Z_{1НГ}$, Z_c , Z_k - модули сопротивлений ветвей исходной схемы замещения (рис. П12.4 в), причем

$$Z_{\text{ИГ}} = Z_{\text{ИГ}}^* \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{S_{\Sigma}}$$

$$Z_{\text{с}} = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}$$

$$Z_{\text{к}} = \sqrt{r_{\Sigma\text{к}}^2 + x_{\Sigma\text{к}}^2}$$

$r_{\Sigma\text{к}}$ и $x_{\Sigma\text{к}}$ - соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление цепи КЗ.

№	Исходные данные		Расчетные данные	
	Исходные	Расчетные	Исходные	Расчетные
1	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,000	0,000
13	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,000	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000	0,000
16	0,000	0,000	0,000	0,000
17	0,000	0,000	0,000	0,000
18	0,000	0,000	0,000	0,000
19	0,000	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000	0,000
21	0,000	0,000	0,000	0,000
22	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,000	0,000	0,000	0,000
24	0,000	0,000	0,000	0,000
25	0,000	0,000	0,000	0,000
26	0,000	0,000	0,000	0,000
27	0,000	0,000	0,000	0,000
28	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,000	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000	0,000
31	0,000	0,000	0,000	0,000
32	0,000	0,000	0,000	0,000
33	0,000	0,000	0,000	0,000
34	0,000	0,000	0,000	0,000
35	0,000	0,000	0,000	0,000
36	0,000	0,000	0,000	0,000
37	0,000	0,000	0,000	0,000
38	0,000	0,000	0,000	0,000
39	0,000	0,000	0,000	0,000
40	0,000	0,000	0,000	0,000
41	0,000	0,000	0,000	0,000
42	0,000	0,000	0,000	0,000
43	0,000	0,000	0,000	0,000
44	0,000	0,000	0,000	0,000
45	0,000	0,000	0,000	0,000
46	0,000	0,000	0,000	0,000
47	0,000	0,000	0,000	0,000
48	0,000	0,000	0,000	0,000
49	0,000	0,000	0,000	0,000
50	0,000	0,000	0,000	0,000

ПРИЛОЖЕНИЕ П13

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДУГИ

АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДУГИ В МЕСТЕ КЗ

При определении минимального значения тока КЗ следует учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги в месте КЗ.

Приближенные значения активного сопротивления дуги приведены в табл. П13.1.

Таблица П13.1. Значения активного сопротивления дуги

Расчетные условия КЗ	Активное сопротивление дуги (r_d), мОм, при КЗ за трансформаторами мощностью, кВ·А					
	250	400	630	1000	1600	2500
КЗ вблизи выводов низшего напряжения трансформатора:						
- в разделке кабелей напряжением:						
0,4 кВ	15	10	7	5	4	3
0,525 кВ	14	8	6	4,5	3,5	2,5
0,69 кВ	12	7	5	4	3	2
- в шинпроводе типа ШМА напряжением:						
0,4 кВ	-	-	-	6	4	3
0,525 кВ	-	-	-	5	3,5	2,5
0,69 кВ	-	-	-	4	3	2
КЗ в конце шинпровода типа ШМА длиной 100-150 м напряжением:						
0,4 кВ	-	-	-	6-8	5-7	4-6
0,525 кВ	-	-	-	5-7	4-6	3-5
0,69 кВ	-	-	-	4-6	3-5	2-4

Для других расчетных условий КЗ значения активного сопротивления дуги допускается рассчитывать по методике, изложенной ниже.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДУГИ НА ТОК КЗ

Учет электрической дуги в месте КЗ рекомендуется производить введением в расчетную схему активного сопротивления дуги r_d .

Переходное активное сопротивление дуги в месте КЗ (r_d) в миллиомах зависит в основном от тока КЗ и длины дуги и рассчитывается по формуле

$$r_d = 16 \frac{\sqrt{l_d}}{I_{под}^{0,85}}$$

где $I_{под}$ - начальное действующее значение периодической составляющей тока в месте КЗ, кА, определяемое с учетом сопротивления дуги;

l_d - длина дуги, см, которая может быть принята равной:

$$l_d = 4a \text{ при } a < 5 \text{ мм;}$$

$$l_d = 20,4 \ln \frac{a}{2} e^{-0,15 r_{\Sigma} I_{\Sigma}} \text{ при } a = (5 + 50) \text{ мм;}$$

$$l_d = a \text{ при } a > 50 \text{ мм,}$$

где r_{Σ} и x_{Σ} - соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление цепи КЗ, мОм;

a - расстояние между фазами проводников, мм.

Для электроустановок 0,4 кВ активное сопротивление электрической дуги может быть определено по кривым, приведенным на рис. П13.1, П13.2

На рис. П13.1 – П13.10 представлены расчетные кривые зависимости активного сопротивления дуги $r_{\text{д}}$ от площади сечения (s) и длины алюминиевого кабеля ($l_{\text{кб}}$), определяемой расстоянием от выводов низшего напряжения (0,4 кВ) трансформаторов различной мощности до места КЗ. Кривые построены с использованием формулы (40) при трехфазном и однофазном КЗ и при $l_{\text{д}} = 3a$

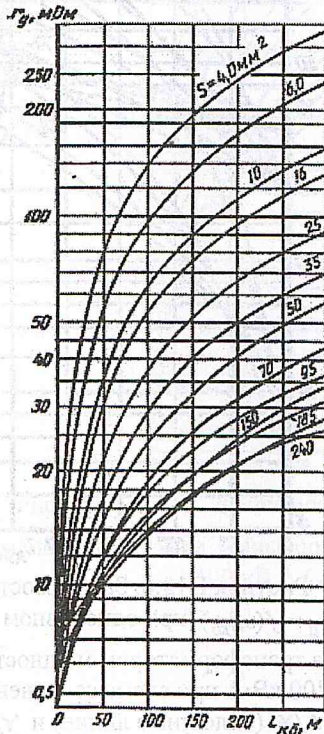


Рисунок П13.1. Зависимость $r_{\text{д}} = f(s, l_{\text{кб}})$ при трехфазном КЗ за трансформатором мощностью 630 кВ·А

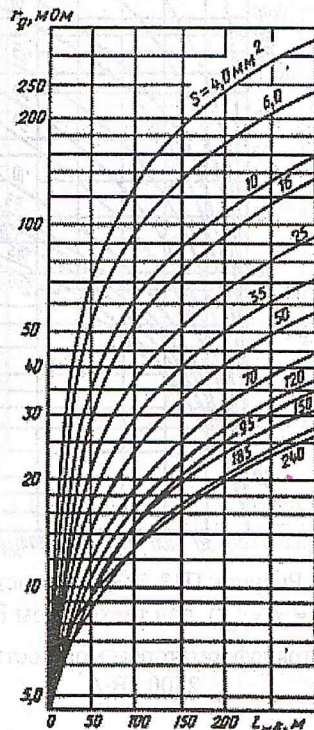


Рисунок П13.2. Зависимость $r_{\text{д}} = f(s, l_{\text{кб}})$ при трехфазном КЗ за трансформатором мощностью 750 кВ·А

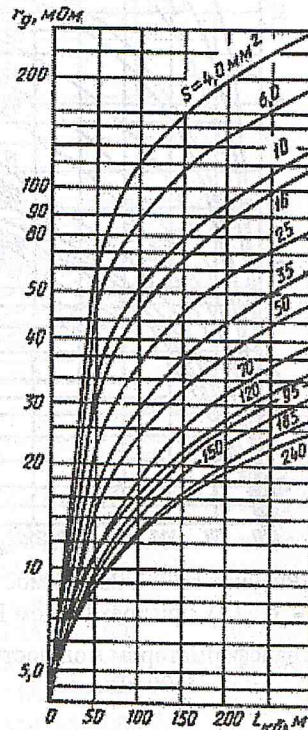


Рисунок П13.3. Зависимость $r_{\text{д}} = f(s, l_{\text{кб}})$ при трехфазном КЗ за трансформатором мощностью 1000 кВ·А

На рис. П13.11 представлены расчетные кривые зависимости активного сопротивления дуги от типа и длины шинпровода, подключенного к выводам 0,4 кВ трансформаторов различной мощности, определяемой расстоянием до моста КЗ. Кривые справедливы для шинпроводов серии ШМА и построены при условии, что $l_{\text{д}} = 2a$.

При определении активного сопротивления дуги в случае КЗ в кабеле длиной $l_{\text{кб}}$, подключенном к трансформатору через шинпровод длиной $l_{\text{ш}}$ или через кабель другого сечения, результирующую длину проводника шинпровод - кабель (кабель - кабель) выражают через длину поврежденного кабеля:

$$l_{\Sigma \text{кб}} = l_{\text{кб}} + z_{\text{ш}} l_{\text{ш}} / z_{\text{кб}},$$

где $z_{\text{кб}}$ и $z_{\text{ш}}$ - полные сопротивления прямой последовательности шинпровода и кабеля, мОм.

Влияние активного сопротивления дуги на ток КЗ можно также учитывать путем умножения расчетного тока КЗ, найденного без учета сопротивления дуги в месте КЗ, на зависящий от сопротивления цепи КЗ поправочный коэффициент $K_{\text{с}}$. Значение коэффициента $K_{\text{с}}$, полученного экспериментально при КЗ за трансформаторами мощностью 630-1000 кВ·А, можно определить по кривым рис. П13.12.

Сопротивление цепи КЗ ($z_{\text{к}}$) определяют в зависимости от вида КЗ:

$$\text{при трехфазном } z_{\text{к}}^{(3)} = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2};$$

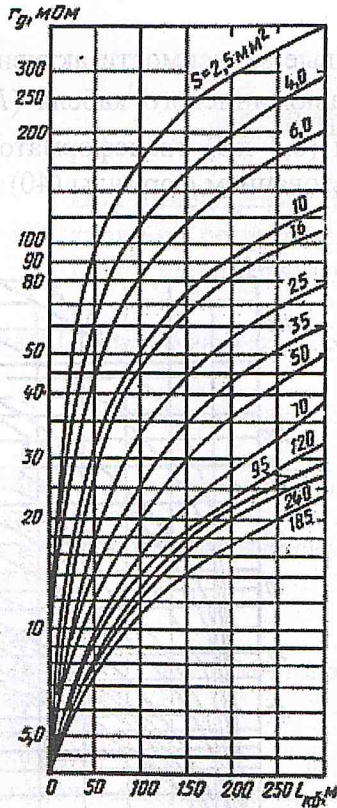


Рисунок П13.4. Зависимость $r_D = f(s, l_{KB})$ при трехфазном КЗ за трансформатором мощностью 1600 кВ·А

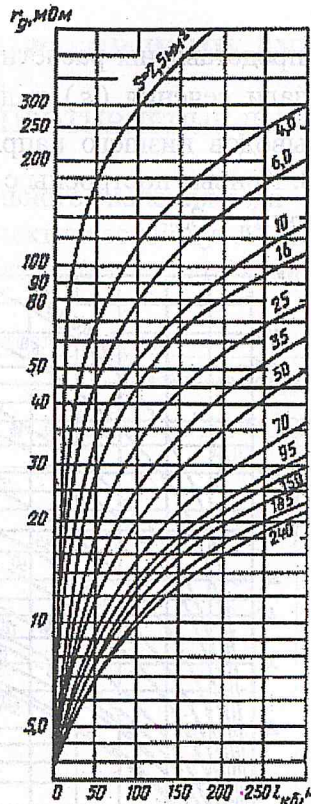


Рисунок П13.5. Зависимость $r_D = f(s, l_{KB})$ при трехфазном КЗ за трансформатором мощностью 2500 кВ·А

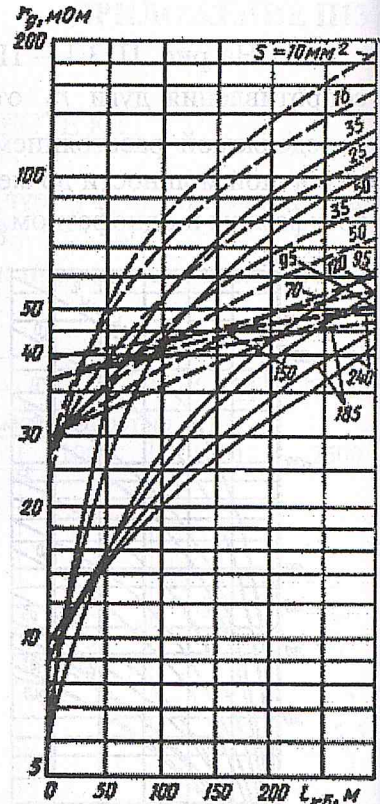


Рисунок П13.6. Зависимость $r_D = f(s, l_{KB})$ при однофазном КЗ за трансформатором мощностью 400 кВ·А при схеме соединений Δ/ϵ (сплошные линии) и ϵ/ϵ (пунктирные линии)

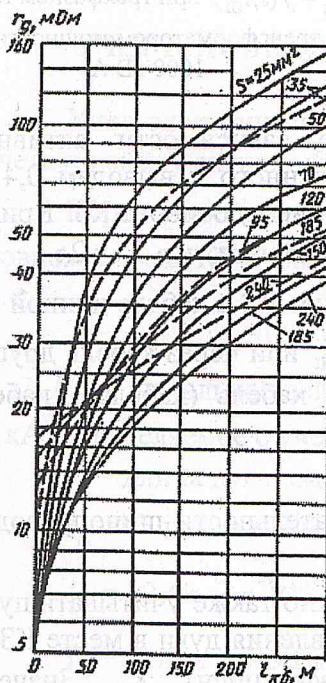


Рисунок П13.7. Зависимость $r_D = f(s, l_{KB})$ при однофазном КЗ за трансформатором мощностью 630 кВ·А при схеме соединений Δ/ϵ (сплошные линии) и ϵ/ϵ (пунктирные линии)

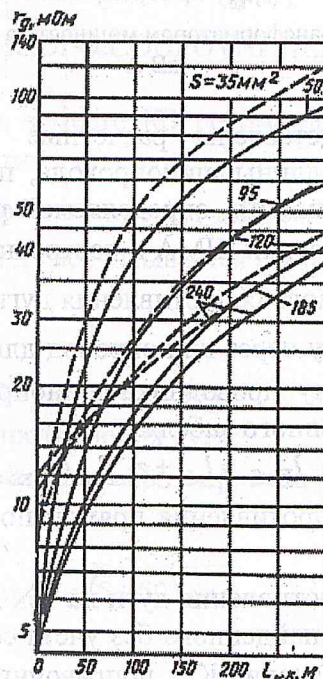


Рисунок П13.8. Зависимость $r_D = f(s, l_{KB})$ при однофазном КЗ за трансформатором мощностью 1000 кВ·А при схеме соединений Δ/ϵ (сплошные линии) и ϵ/ϵ (пунктирные линии)

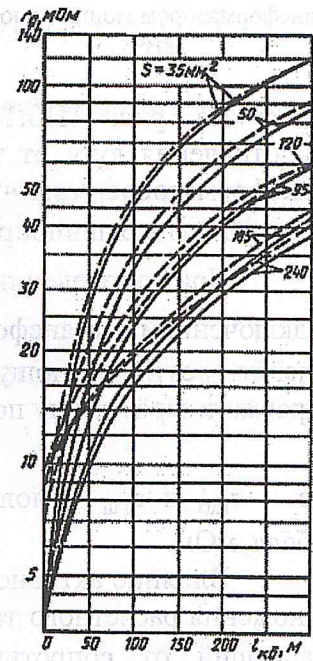


Рисунок П13.9. Зависимость $r_D = f(s, l_{KB})$ при однофазном КЗ за трансформатором мощностью 1600 кВ·А при схеме соединений Δ/ϵ (сплошные линии) и ϵ/ϵ (пунктирные линии)

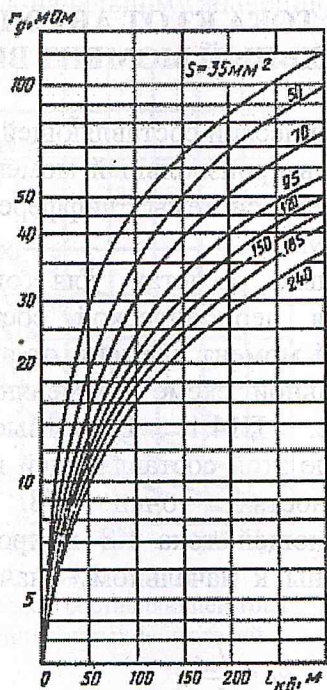


Рисунок П13.10. Зависимость $r_d = f(s, l_{кБ})$ при однофазном КЗ за трансформатором мощностью 2500 кВ·А (Δ/Υ)

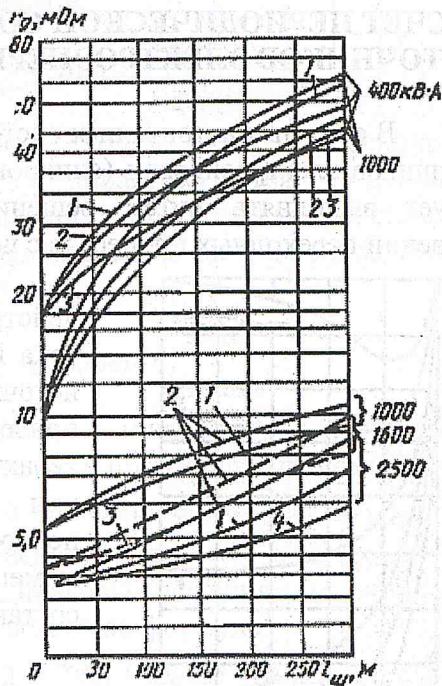


Рисунок П13.11. Зависимость $r_d = f(\text{тип}, l_{ш})$ при трехфазном КЗ за трансформатором мощностью 1000, 1600 и 2500 кВ·А.

Типы шинпроводов:

- 1 - ШМА-68-1000
- 2 - ШМА-73-1600
- 3 - ШМА-68-2500
- 4 - ШМА-68-4000

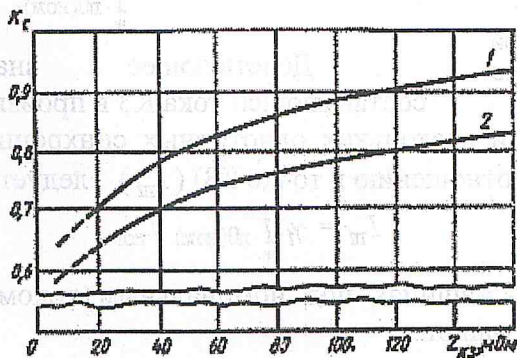


Рисунок П13.12. Зависимость коэффициента K_c , найденного экспериментально, для начального момента КЗ (кривая 1) и установившегося КЗ (кривая 2) от сопротивления цепи КЗ

при двухфазном $z_K^{(2)} = 2 / \sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}$;

при однофазном $z_K^{(1)} = 1/3 \cdot \sqrt{(2r_{\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}$.

Приведенным на рис. П13.12 кривым $K_c f(z_K)$ соответствуют выражения

$$K_c = 0,6 - 0,0025z_K + 0,114\sqrt{z_K} - 0,133\sqrt[3]{z_K} ;$$

$$K_c = 0,55 - 0,002z_K + 0,1\sqrt{z_K} - 0,123\sqrt[3]{z_K} .$$

При определении минимального значения тока КЗ в автономной электрической системе приближенный учет влияния активного сопротивления электрической дуги на ток КЗ допускается производить умножением расчетного тока КЗ, найденного без учета сопротивления дуги, на поправочный коэффициент K_c . Значение этого коэффициента допускается принять равным 0,7-0,8.

ПРИЛОЖЕНИЕ П14

РАСЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА КЗ ОТ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОИЗВОЛЬНЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

В сложных автономных системах расчет периодической составляющей тока КЗ от источников электроэнергии (синхронных генераторов) в произвольный момент времени следует выполнять путем решения соответствующей системы дифференциальных уравнений переходных процессов с использованием ЭВМ.

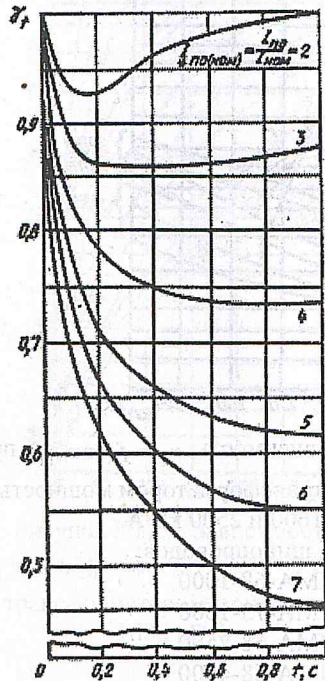


Рисунок П14.1 Изменение периодической составляющей тока КЗ от синхронной машины

В приближенных расчетах для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени от автономных источников при радиальной схеме применяют кривые, приведенные на рис. П14.1. Расчетные кривые характеризуют изменение этой составляющей во времени при разных удаленностях точки КЗ. Значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени отнесены к начальному значению этой составляющей, т.е.

$$\gamma_t = \frac{I_{пт}}{I_{п0}}$$

Удаленность точки КЗ от синхронной машины ($I^*_{п0(ном)}$) характеризуется отношением действующего значения периодической составляющей тока этой машины в начальный момент КЗ к ее номинальному току, т.е.

$$I^*_{п0(ном)} = \frac{I_{п0}}{I_{ном}}$$

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени от синхронной машины (или нескольких однотипных синхронных машин, находящихся в одинаковых условиях по отношению к точке КЗ) ($I_{пт}$), следует определять по формуле

$$I_{пт} = \gamma_t I^*_{п0(ном)} I_{ном},$$

причем при нескольких машинах под номинальным током следует понимать сумму номинальных токов всех машин.

РАСЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА КЗ ОТ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОЛЬНЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

Точный расчет периодической составляющей тока КЗ от синхронных и асинхронных электродвигателей в произвольный момент времени следует выполнять путем решения системы дифференциальных уравнений переходных процессов.

При приближенных расчетах для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ от синхронных электродвигателей в произвольный момент времени при радиальной схеме используют типовые кривые, приведенные на рис. П14.1.

При приближенных расчетах для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ от асинхронных электродвигателей в произвольный момент времени при радиальной схеме используют кривые, приведенные на рис. П14.2.

Значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени отнесены к начальному значению этой составляющей, т.е.

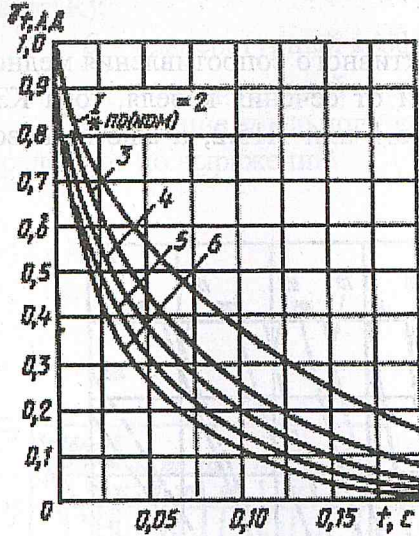


Рисунок П14.2. Изменение периодической составляющей тока КЗ от асинхронных двигателей

$$\gamma_{тАД} = \frac{I_{тАД}}{I_{п0АД}}$$

Удаленность точки КЗ от асинхронного электродвигателя характеризуется отношением действующего значения периодической составляющей тока этого электродвигателя в начальный момент КЗ к его номинальному току

$$I_{* п0(ном)} = \frac{I_{п0АД}}{I_{АДном}}$$

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени от асинхронного электродвигателя ($I_{тАД}$) (или нескольких асинхронных электродвигателей, находящихся в одинаковых условиях по отношению к точке КЗ) рассчитывают по формуле

$$I_{тАД} = \gamma_{тАД} I_{* п0(ном)} I_{номАД}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ П15
УВЕЛИЧЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАБЕЛЕЙ

Значения коэффициента, учитывающего увеличение активного сопротивления медного кабеля при нагреве его током КЗ, определяют в зависимости от сечения кабеля, тока КЗ и продолжительности КЗ по кривым, приведенным на рис. П15.1 или П15.2, а алюминиевого кабеля - по кривым, приведенным на рис. П15.3 или П15.4.

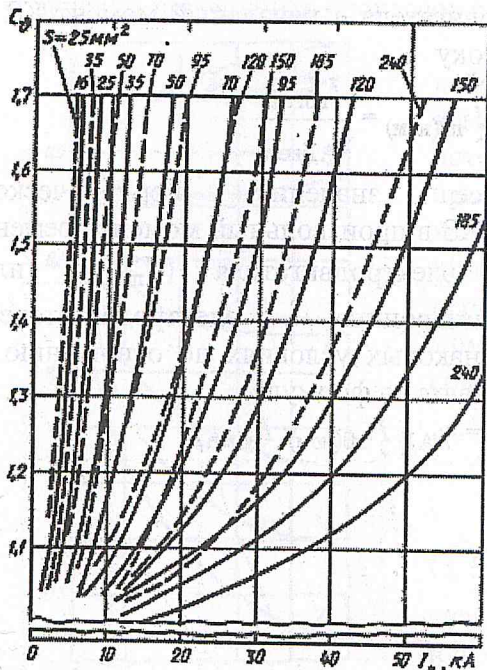


Рисунок П15.1. Зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей разных сечений с медными жилами от тока КЗ при продолжительности КЗ 0,2 с (сплошные линии) и 0,6 с (пунктирные линии)

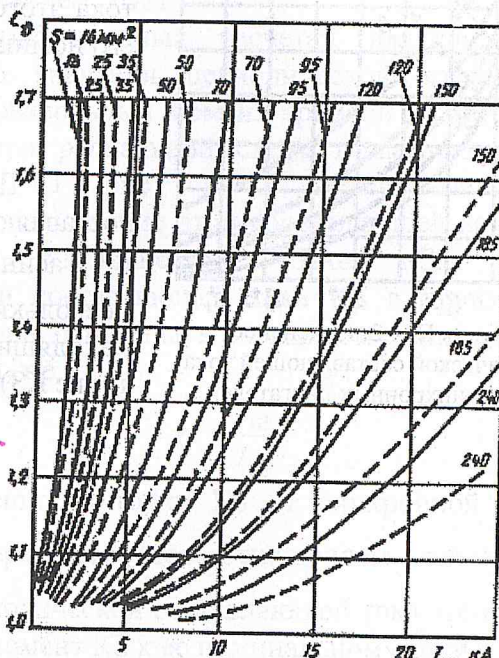


Рисунок П15.2. Зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей разных сечений с медными жилами от тока КЗ при продолжительности КЗ 1,0 с (сплошные линии) и 1,5 с (пунктирные линии)

Данные, указанные на рис. П15.1 П15.4, получены при следующих расчетных условиях: КЗ происходит в радиальной схеме, содержащей ветвь (трансформатор, кабель) с источником неизменной по амплитуде ЭДС;

температура кабеля изменяется от $\vartheta_{нач} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $\vartheta_{доп.к} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$,

продолжительность КЗ ($t_{откл}$) составляет 0,2; 0,6; 1,0; 1,5 с.

Температуру нагрева кабеля определяют с помощью уравнения нагрева однородного проводника при адиабатическом процессе, преобразованного к виду

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{I_{кз}^2 \rho_{в}}{s \lambda g c_0 \left[1 + \frac{\beta}{\alpha \rho_{норм}} (\rho_{в} - \rho_{норм}) \right]}$$

где $I_{кз}$ - ток КЗ к моменту времени t , кА;

$\rho_{в}$ и $\rho_{норм}$ - удельные сопротивления, Ом·м, материала кабеля при температуре ϑ и начальной нормированной температуре $\vartheta_{норм}$;

s - сечение кабеля, мм²;

λ - плотность материала проводника, кг/м³;

g - ускорение силы тяжести, м/с²;

c_0 - удельная теплоемкость материала кабеля при температуре $\vartheta_0 = \vartheta_{\text{нач}} = \vartheta_{\text{норм}}$, Дж/(кг·К);

β - температурный коэффициент теплоемкости, 1/К;

α - температурный коэффициент удельного сопротивления, 1/К.

Изменение удельного сопротивления материала кабеля при повышении температуры определяют по выражению

$$\rho_{\vartheta} = \rho_{\vartheta_{\text{норм}}} c_{\vartheta},$$

где

$$c_{\vartheta} = \frac{T + \vartheta}{T + \vartheta_0}.$$

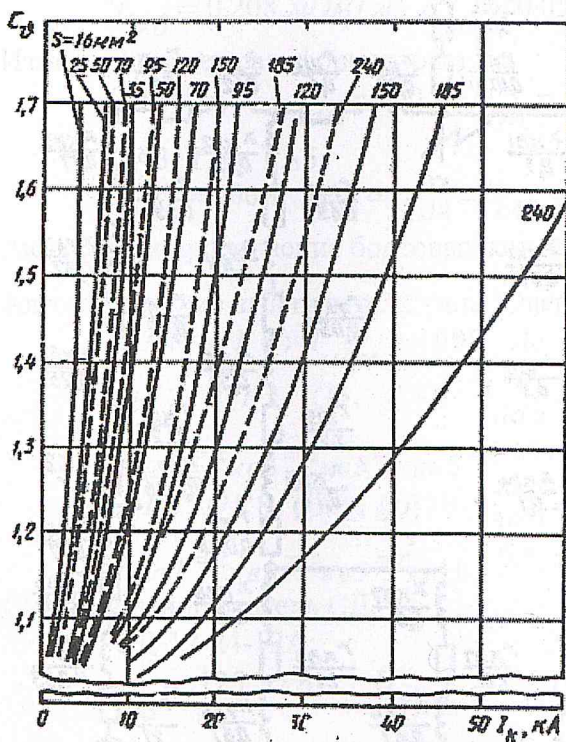


Рисунок П15.3. Зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей разных сечений с алюминиевыми жилами от тока КЗ при продолжительности КЗ 0,2 с (сплошные линии) и 0,6 с (пунктирные линии)

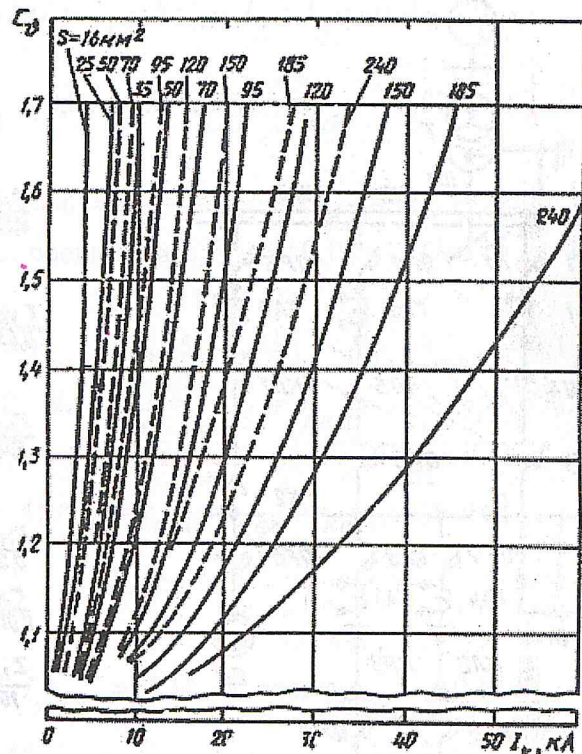


Рисунок П15.4. Зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей с алюминиевыми жилами от тока КЗ при продолжительности КЗ 1,5 с (сплошные линии) и 1,0 с (пунктирные линии)