Напряжение на закрытом транзисторе в мостовой схеме усилителя мощности равно напряжению источника питания U_0.

Мостовые усилители мощности, в отличие от двухтактных, применяются на большие мощности при больших напряжениях источника питания.

Выходной трансформатор в усилителях мощности $Тр_1$ работает в насыщенном режиме. Трансформатор $Тр_1$ выполняется из материала с непрямоугольной петлей гистерезиса.

9.3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ТИРИСТОРАХ

Тиристоры в отличии от транзисторов имеют одностороннее управление. Для запирания тиристоров в схемах преобразователей используются реактивные элементы в основном в виде коммутирующих конденсаторов. По способу включения конденсаторов по отношению к нагрузке преобразователи (инверторы) подразделяются на параллельные, последовательные и последовательно-параллельные.

Инвертор (рис. 9.4*а*) состоит из дросселя, четырех тиристоров $Т_1$—$Т_4$, однофазного трансформатора $Тр_1$, включенного в одну из

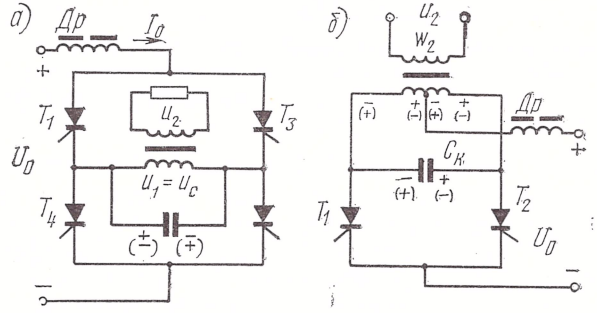


Рис. 9.4. Схемы инверторов на тиристорах:
а) мостовая; *б*) со средней точкой

диагоналей моста, коммутирующего конденсатора C, включенного параллельно первичной обмотке трансформатора, и схемы управления тиристорами.

На управляющие электроды тиристоров с выхода схемы управления поступают управляющие импульсы. В каждый полупериод в схеме открыты два тиристора — один тиристор анодной группы и другой тиристор катодной группы. Предположим, в первый полупериод открыты тиристоры $Т_1$ и $Т_2$. Ток дросселя $i_{др}$ протекает через конденсатор и первичную обмотку трансформатора. Конденсатор заряжается (потенциалы на схеме показаны без скобок) и напряжение на его обкладках и на первичной обмотке трансформатора увеличивается.

Во второй полупериод открываются одновременно тиристоры $Т_3$, $Т_4$. При этом заряженная емкость подключается параллельно

тиристорам T_1 и T_2 и под действием приложенного обратного напряжения они запираются. Конденсатор перезаряжается и напряжение на его обкладках и на первичной обмотке трансформатора меняет знак (потенциалы показаны на схеме в скобках). В следующий полупериод опять открываются тиристоры T_1, T_2 и процесс повторяется.

Для обеспечения запирания тиристоров необходимо, чтобы энергия коммутирующего конденсатора была достаточной для того, чтобы в процессе перезаряда обратное напряжение на тиристорах падало достаточно медленно и успело бы обеспечить восстановление их запирающих свойств.

Форма напряжения на нагрузке u_2 преобразователя такая же, как и на коммутирующем конденсаторе. Изменение величины и характера нагрузки изменяет величину и форму напряжения. Так, при большом сопротивлении нагрузки кривая напряжения на ней приобретает форму рис. 9.5*а*. При меньших значениях со-

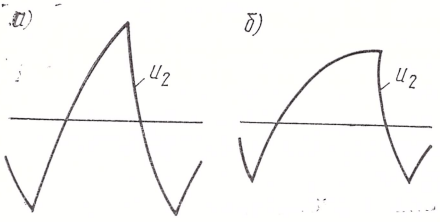


Рис. 9.5. Выходные напряжения инвертора при сопротивлениях нагрузки:
а) больших; *б*) малых

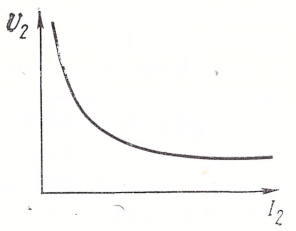


Рис. 9.6. Внешняя характеристика инвертора ($\cos\varphi=1$)

противления нагрузки напряжение u_2 имеет форму экспоненты, постоянная времени которой уменьшается с ростом нагрузки (рис. 9.5*б*).

Принцип действия схемы рис. 9.4*б* подобен принципу действия мостового инвертора. В первый полупериод под действием управляющего импульса открывается тиристор T_1. При этом в обмотках трансформатора под действием возрастающего тока наводится ЭДС. Под действием этой ЭДС конденсатор перезаряжается до напряжения $U_{C\,max}=2\,U_0$ (полярность показана на схеме без скобок). В начале второго полупериода на управляющий электрод второго тиристора подается сигнал и тиристор T_2 открывается. Конденсатор начинает разряжаться, причем его разрядный ток направлен навстречу основному току тиристора T_1. Ток через тиристор уменьшается и тиристор T_1 закрывается. В течение второго полупериода конденсатор перезаряжается, знаки потенциалов на обкладках конденсатора меняются на обратные (показано на рис. 9.4*б* в скобках). В начале третьего полупериода вновь включается тиристор T_1. Конденсатор C оказывается подключенным через тиристор T_1 параллельно тиристору T_2. Под действием раз-

рядного тока конденсатора тиристор T_2 запирается. В дальнейшем процесс повторяется.

Напряжение на нагрузке в этой схеме преобразователя также изменяется по экспоненте. С увеличением сопротивления нагрузки напряжение на нагрузке возрастает.

Как видно из характеристики (рис. 9.6) напряжение на выходе преобразователя существенно зависит от величины нагрузки.

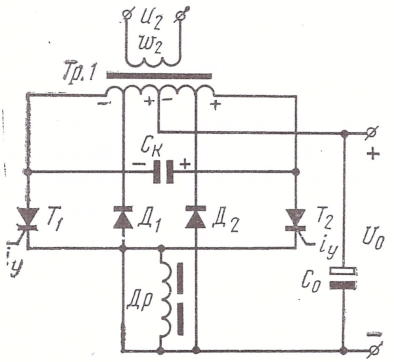


Рис. 9.7. Схема инвертора с обратными диодами

Для уменьшения влияния характера и величины нагрузки на форму и величину выходного напряжения преобразователя применяют схемы с обратными диодами.

В схеме рис. 9.7 первичная обмотка трансформатора имеет отводы, к которым подключены диоды $Д_1$, $Д_2$. Диоды необходимы для возврата реактивной энергии, накопленной в индуктивной нагрузке, и реактивных коммутирующих элементах, в источник питания преобразователя. Такой преобразователь имеет более жесткую внешнюю характеристику и может работать при холостом ходе и индуктивной нагрузке.

В качестве задающего генератора в тиристорных преобразователях можно использовать транзисторные преобразователи напряжения с самовозбуждением или другие релаксационные генераторы, например, мультивибраторы, блокинг-генераторы и т. д.

Источники электрической энергии постоянного тока

10.1. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БАТАРЕИ

Для питания аппаратуры связи и различных радиотехнических устройств широко применяются источники постоянного тока. Они преобразуют какую-либо неэлектрическую энергию (химическую, тепловую, световую и т. д.) в электрическую энергию постоянного тока. К таким источникам относятся гальванические элементы, аккумуляторы, термоэлементы, солнечные и атомные элементы и другие. Источники электрической энергии постоянного тока могут быть как основными источниками энергии для питания портативных устройств связи, аппаратуры на искусственных спутниках и космических кораблях, измерительной аппаратуры и т. д., так и резервными источниками энергии для питания аппаратуры при отключении сети переменного тока.

В качестве источников электрической энергии постоянного тока чаще всего применяются химические источники. В качестве химических источников используют гальванические элементы, аккумуляторы и топливные элементы. Гальваническими элементами называются одноразовые химические источники тока. Они отдают во внешнюю цепь энергию, запасенную в активных массах электродов в процессе изготовления, при этом имеют место необратимые химические процессы.

В настоящее время применяют исключительно сухие гальванические элементы благодаря простоте эксплуатации, дешевизне и способности работать в любом положении.

Наибольшее применение для питания аппаратуры связи нашли сухие элементы марганцево-цинковые (МЦ) и воздушно-марганцево-цинковые (ВМЦ). Конструктивно они выполняются в виде стаканчиков и галет.

Отрицательным электродом в гальванических элементах МЦ и ВМЦ является цинк, выполненный в виде коробки (стакана), служащей сосудом элемента при «стаканчиковой» конструкции и в виде пластины при галетной конструкции.

Активным материалом положительного электрода является двуокись марганца (MnO_2). Для повышения электропроводности по-

ложительного электрода двуокись марганца смешивается с графитом в МЦ гальванических элементах, образуя агломератную массу. Агломерат располагается вокруг угольного электрода при «стаканчиковой» конструкции. Угольный электрод служит токоотводом положительного электрода элемента.

Между положительным и отрицательным электродами помещается электролит — раствор нашатыря (NH_4Cl), для сгущения которого добавляется мука или крахмальный клейстер.

Для любого гальванического элемента ЭДС определяется разностью потенциалов положительного и отрицательного электродов относительно электролита и не зависит от размеров и конструкции самих электродов.

В свою очередь, потенциал электрода относительно электролита определяется способностью атомов материала электродов отдавать электроны со своего внешнего энергетического уровня (отрицательный электрод) или принимать электроны (положительный электрод), т. е. ЭДС гальванического элемента зависит от материала электродов и от концентрации электролита.

Для МЦ и ВМЦ элементов ЭДС имеет величину 1,3—1,6 В в начале разряда.

Электрический ток во внешней цепи обусловлен переносом электронов с отрицательного электрода на положительный, а внутри элемента переносом ионов электролита. Положительные ионы электролита перемещаются к положительному электроду, так как по мере получения электронов из внешней цепи уменьшается потенциал этого электрода относительно электролита. Чтобы положительные ионы водорода электролита не попали на угольный электрод и не превратились в атомы водорода электролита (что повысит внутреннее сопротивление элемента, а следовательно, уменьшит напряжение во внешней цепи), положительный электрод выполняется из материала с большим содержанием кислорода (MnO_2, а не Mn). В процессе разряда гальванического элемента ионы водорода соединяются с ионами кислорода, в результате чего образуются молекулы воды (H_2O). Этим самым уменьшается вероятность попадания ионов водорода на угольный электрод.

Элементы ВМЦ по устройству практически не отличаются от элементов МЦ. Основное отличие состоит в том, что в материале положительного электрода есть активированный уголь, что делает электрод пористым и тем самым способным поглощать кислород воздуха. Это значительно повышает интенсивность превращения ионов водорода в молекулы воды. Благодаря этому, ВМЦ элементы обладают большей емкостью, чем МЦ элементы при одинаковых габаритах.

Емкость гальванических элементов и аккумуляторов выражается в ампер-часах (А·ч), т. е. определяется как произведение тока нагрузки на время, в течение которого элемент отдает электрическую энергию. Емкость элемента зависит от его конструкции (от количества активных материалов электродов и электролита), от температуры окружающей среды (с понижением температуры ем-

кость уменьшается) и от тока нагрузки (при увеличении тока нагрузки емкость уменьшается, так как часть активных материалов не успевает участвовать в реакциях). Удельная емкость МЦ элементов, т. е. количество А·ч на килограмм массы составляет (35—40) А·ч/кг. Удельная энергия МЦ элементов, т. е. количество Вт·ч на килограмм массы составляет (45—50) Вт·ч/кг, а для ВМЦ — (55—60) Вт·ч/кг.

Промышленностью выпускается широкий ассортимент элементов и батарей, составленных из МЦ и ВМЦ элементов галетной конструкции. Технические характеристики, а также маркировка их приведены в [24].

Недостатками МЦ и ВМЦ сухих элементов и батарей являются: саморазряд их в процессе хранения, большие пределы изменения напряжения при разряде, низкая удельная энергия на единицу массы и объема.

Значительно лучше по своим техническим и эксплуатационным характеристикам окисно-ртутные элементы РЦ, у которых отрицательным электродом является цинк, а положительным — окись ртути. В качестве электролита используют раствор едкого калия. ЭДС такого элемента составляет 1,35 В. Удельная энергия на единицу массы — 68 Вт·ч/кг, удельная энергия на единицу объема — 300 Вт·ч/дм^3 (вместо 105 Вт·ч/дм^3 для ВМЦ элементов). Эти элементы имеют значительно меньшее внутреннее сопротивление. Однако они значительно дороже МЦ и ВМЦ элементов.

Ввиду дефицитности и высокой стоимости цинка желательно использовать в качестве отрицательного электрода какой-либо другой металл, например, железо. Железо — угольные щелочные элементы ВДЖ применяются для питания радиоустройств в труднодоступных для обслуживания местностях. Однако замена цинка железом приводит к уменьшению ЭДС элемента. Начальное напряжение ВДЖ элемента 0,75 В, напряжение в конце разряда 0,45 В. Элементы ВДЖ допускают длительное хранение и нормально работают при температурах выше 0°С. Удельная энергия на единицу объема и массы ВДЖ элементов выше, чем у ВМЦ элементов.

В настоящее время ведутся разработки по улучшению технических и эксплуатационных характеристик топливных элементов. Они, как и гальванические элементы, преобразуют химическую энергию в электрическую. В отличие от последних, запас энергии у которых сосредоточен внутри самого элемента, в топливных элементах осуществляется непрерывная подача активных веществ из внешних хранилищ в зону, где происходит электрохимическая реакция и отвод продуктов, получившихся при этой реакции.

10.2. КИСЛОТНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Аккумулятором называют прибор многократного действия, обладающий способностью накапливать и сохранять в течение некоторого времени электрическую энергию.

В зависимости от состава электролита аккумуляторы бывают кислотными и щелочными. В кислотных аккумуляторах электролитом служит водный раствор серной кислоты (H_2SO_4), в котором некоторая часть молекул последней распадается на положительные ионы водорода (H^+) и отрицательные ионы кислотного остатка. Этот процесс распада молекул серной кислоты (электролитическая диссоциация) на ионы присущ самому раствору. При этом раствор в целом остается электрически нейтральным.

При погружении в электролит пластины из чистого свинца положительные ионы (Pb^{++}) переходят в раствор электролита. Часть этих ионов, вступая в реакцию с ионами кислотного остатка, образуют нейтральные молекулы сульфата свинца ($PbSO_4$), оседающего на пластине, что повышает концентрацию положительных ионов водорода в электролите. Сама пластина ввиду избытка электронов заряжается отрицательно (отрицательный электрод).

Если в электролит погрузить вторую пластину из двуокиси свинца (PbO_2), то ввиду повышенной концентрации ионов водорода двуокись свинца переходит в раствор и образует положительные четырехвалентные ионы свинца (Pb^{++++}) и отрицательные ионы гидроксила (OH^-) [25]. Сама пластина из-за избытка положительных ионов свинца заряжается положительно (положительный электрод). Повышение концентрации серной кислоты увеличивает потенциалы положительного и отрицательного электродов относительно электролита.

Электродвижущая сила такого простейшего аккумулятора определяется разностью потенциалов отрицательного и положительного электродов относительно электролита и не зависит от размеров и конструкции самих электродов.

При подключении к аккумулятору нагрузки под действием ЭДС во внешней цепи будет протекать ток, обусловленный перемещением электронов от отрицательного электрода к положительному. При этом четырехвалентные ионы свинца положительного электрода, присоединяя на свой внешний энергетический уровень по два электрона, становятся двухвалентными ионами, которые, вступая в реакцию с отрицательными ионами кислотного остатка, образуют молекулы сульфата свинца на положительном электроде. Ток внутри аккумулятора обусловлен перемещением положительных ионов водорода к положительному электроду. При этом в результате взаимодействия ионов водорода с отрицательными ионами гидроксила образуются молекулы воды.

При разряде аккумулятора на обоих электродах выделяется сульфат свинца и уменьшается удельная плотность электролита.

Так как ЭДС аккумулятора зависит от плотности электролита, то в процессе разряда ЭДС уменьшается. При плотности электролита в пределах 1050—1300 кг/м³ величина ЭДС кислотных аккумуляторов $E = 0{,}85 + \rho \cdot 10^{-3}$, где ρ — удельная плотность раствора серной кислоты при температуре $t = +25°C$.

Причем изменение температуры незначительно влияет на величину ЭДС. Повышение температуры на 10° увеличивает ЭДС на 0,002—0,003 В [19].

При разряде аккумулятора напряжение на его зажимах быстро падает до 2,0—1,95 В, затем медленно понижается до 1,85—1,8 В и после этого резко уменьшается до нуля (рис. 10.1, кривая *2*).

Понижение напряжения при разряде объясняется уменьшением ЭДС за счет понижения плотности электролита и увеличения внутреннего сопротивления аккумулятора. Уменьшение плотности электролита непосредственно у пластин тем больше, чем больше разрядный ток.

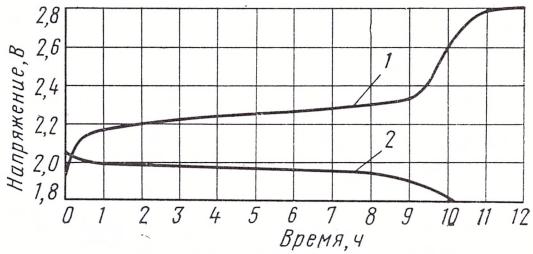


Рис. 10.1. Изменение напряжения кислотного аккумулятора:
1 — при заряде; *2* — при разряде

Увеличение внутреннего сопротивления при разряде объясняется как повышением сопротивления раствора электролита при уменьшении его плотности, так и повышением сопротивления активного слоя пластин, за счет образования сульфата свинца, который не является проводником.

Внутреннее сопротивление аккумулятора повышается с понижением температуры, так как при этом увеличивается сопротивление электролита.

Предельное напряжение, до которого можно разряжать аккумулятор стационарного типа, составляет 1,8 В для режимов разряда не короче одночасового и 1,75 В для более коротких режимов разряда. Дальнейший разряд приводит к образованию крупнокристаллического серно-кислого свинца на пластинах, что исключает возможность последующего нормального эксплуатационного заряда аккумулятора.

Количество электричества, которое аккумулятор может отдать при разряде определенным током до предельного напряжения, называется его емкостью. Под номинальной емкостью ($Q_н$) стационарных аккумуляторов понимается то количество электричества (А·ч), которое отдает полностью заряженный аккумулятор при 10-часовом режиме разряда и температуре +25°С. Величина емкости зависит от количества активного материала пластин, от степени его пористости и от плотности электролита. При увеличении разрядного тока емкость аккумулятора уменьшается, так как поверхность пластин покрывается сернокислым свинцом, что затрудняет доступ электролита к внутренним слоям активной массы. При понижении температуры увеличивается вязкость электролита, что также затрудняет его доступ к внутренним слоям активной массы и уменьшает емкость аккумулятора.

В отключенном состоянии (без нагрузки) заряженный аккумулятор теряет часть запасенной им емкости. Это явление носит название саморазряда. Саморазряд аккумулятора увеличивается с повышением плотности электролита и температуры.

При заряде кислотного аккумулятора неизменным по величине током напряжение его сравнительно быстро возрастает до 2,10—2,15 В (рис. 10.1, кривая *1*). Затем медленно повышается до напряжения 2,2—2,3 В по мере восстановления активной массы пластин и повышения плотности электролита. При напряжении выше 2,4 В начинается бурное выделение водорода и кислорода, приводящее к разрушению пластин.

При напряжении 2,4—2,5 В аккумулятор полностью заряжен (заканчивается процесс восстановления активной массы). Дальнейший заряд производит электролиз воды, при котором пластины покрываются пузырьками водорода и кислорода, что уменьшает активную поверхность пластин, увеличивая внутреннее сопротивление аккумулятора, вследствии чего увеличивается напряжение на его зажимах.

Температура электролита существенно влияет на величину напряжения во время заряда аккумулятора. Понижение температуры приводит к увеличению напряжения, вследствии повышения внутреннего сопротивления аккумулятора.

Наибольшее применение в стационарных электропитающих установках электросвязи находят кислотные аккумуляторы типов С и СК. Отрицательные пластины в этих аккумуляторах выполняются коробчатыми. Пластины этого типа представляют собой решетку, в ячейках которой помещается активная масса. Для предотвращения выпадения активной массы из ячеек пластины закрываются свинцовыми листами с большим количеством мелких отверстий.

Положительные пластины выполняются поверхностного типа из чистого свинца. Для увеличения активной поверхности положительные пластины имеют ребристую форму.

В аккумуляторах несколько отрицательных пластин соединяют параллельно. Между ними помещают положительные пластины, также соединенные параллельно. При этом условии положительные пластины работают с обеих сторон (при односторонней работе положительные пластины коробятся, что может привести к касанию их с отрицательными пластинами, т. е. короткому замыканию).

Для предохранения положительных и отрицательных пластин от соприкосновения друг с другом в аккумуляторах применяют сепараторы. Их изготовляют из материалов, проницаемых для раствора электролита (обычно из фанеры или пластмассы).

Параллельное соединение одноименных пластин позволяет увеличить емкость аккумулятора. Каждая группа положительных и отрицательных пластин работает как одна пластина, площадь которой равна сумме площадей параллельно соединенных пластин. Так как положительные пластины должны находиться между от-

рицательными, число отрицательных пластин всегда на одну больше числа положительных.

Аккумуляторы типов С и СК небольшой емкости изготавливаются в стеклянных сосудах. Аккумуляторы больших емкостей выполняются в деревянных сосудах, выложенных внутри свинцом или кислотостойким материалом. Эти аккумуляторы относятся к аккумуляторам открытого типа. У них электролит непосредственно соприкасается с окружающим воздухом. Поэтому в процессе эксплуатации требуется своевременно доливать воду, что неудобно.

Промышленностью выпускается 45 типов С и СК емкостью от 36 до 5328 А·ч. В условном обозначении стационарных аккумуляторов открытого типа буква С обозначает «стационарный», две буквы СК указывают, что аккумуляторы пригодны для коротких режимов разряда большими токами. Число, стоящее после букв, указывает номер аккумулятора, например: С-148 или СК-148. Если этот номер умножить на 36, то получится величина номинальной емкости при 10-часовом режиме разряда.

В настоящее время на предприятиях электросвязи применяется в основном один способ эксплуатации батарей, составленных из аккумуляторов типов С и СК — непрерывный подразряд. При этом способе эксплуатации аккумуляторных батарей, в нормальном режиме работы электропитающей установки (при наличии сети переменного тока), аппаратура питается от выпрямительных устройств. Полностью заряженная аккумуляторная батарея подключена параллельно нагрузке и получает непрерывный подразряд (для компенсации саморазряда) от этих же устройств.

Эксплуатация аккумуляторных батарей в режиме заряд—разряд в настоящее время практически не применяется (допускается в виде исключения только при малой мощности электропитающей установки). Недостатками способа эксплуатации заряд—разряд является малый срок службы аккумуляторов (6—7 лет), низкий КПД электропитающей установки в целом, большие габариты и масса батарей. Этот способ эксплуатации предусматривает наличие двух батарей. Когда одна из них разряжается на нагрузку, то вторая заряжается или заряженная находится в резерве.

Эксплуатация аккумуляторных батарей в режиме непрерывного подзаряда характеризуется следующими положительными качествами: высокая надежность электропитающей установки, так как полностью заряженная батарея постоянно подключена параллельно нагрузке; высокий КПД электропитающей установки, практически равный КПД буферного выпрямительного устройства, поскольку затраты мощности на подзаряд батареи относительно малы. Ток подзаряда $I_{пз} = (0{,}02—0{,}03)N$(А), где N — индексовый номер аккумулятора; большой срок службы аккумуляторов (не менее 20 лет); малая емкость аккумуляторных батарей (по сравнению со способом эксплуатации заряд—разряд), обеспечивающая аварийное питание нагрузок в течении времени, определяемого условиями электроснабжения и принятой системой электропитания (не более трех часов).

Для компенсации саморазряда и содержания батареи в полностью заряженном состоянии необходимо на батареях поддерживать напряжение из расчета 2,20±0,05 В на аккумулятор. Поскольку в конце разряда напряжение снижается до 1,8 В (ввиду малой емкости аккумуляторов), то для поддержания напряжения в пределах, обеспечивающих нормальную работу аппаратуры, батарея выполняется секционированной. В нормальном режиме параллельно нагрузке подключается основная группа аккумуляторов, а дополнительные получают подзаряд от вспомогательных маломощных выпрямительных устройств. В аварийном режиме по мере разряда аккумуляторов основной группы последовательно к ним подключаются аккумуляторы дополнительных групп, что дает возможность поддерживать необходимое напряжение на нагрузке.

В настоящее время все чаще применяется послеаварийный заряд батарей в две ступени при напряжении, не превосходящем 2,3 В на аккумулятор.

Первый этап заряда осуществляется при фиксированном зарядном токе, величина которого колеблется в пределах 1—2 А на индексовый номер аккумулятора. По достижении напряжения 2,3 В на аккумулятор заряд осуществляется при стабилизации напряжения из расчета 2,2 В на аккумулятор. Заряд считается законченным, если зарядный ток уменьшается до 0,02—0,03 А на индексовый номер аккумулятора.

Достоинством такого способа заряда является высокий коэффициент отдачи аккумуляторов. Коэффициент отдачи по емкости (отношение емкости, отданной аккумулятором, к емкости, полученной от зарядного устройства), достигает 0,97—0,98, что объясняется отсутствием потерь на электролиз воды, неизбежный при заряде до более высокого напряжения.

Достоинством такого заряда является также возможность проведения его без отключения батареи от нагрузки, что существенно повышает надежность электропитающей установки.

Применение кислотных аккумуляторов закрытого типа, длительно работающих без доливки воды, позволяет перевести электропитающие установки в разряд необслуживаемых. В отличие от аккумуляторов типов С и СК, аккумуляторы типа СН закрыты сверху крышкой, снабженной пробкой специальной конструкции, задерживающей туман серной кислоты, и собираются в стеклянных или эбонитовых сосудах. Аккумуляторы, собранные в полиэтиленовых сосудах, обозначаются СНП. Буква Н указывает, что положительные и отрицательные пластины выполняются намазными [19] для уменьшения массы аккумуляторов.

10.3. ЩЕЛОЧНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Существенным недостатком кислотных аккумуляторов, ограничивающих их применение в переносной радиотехнической аппаратуре, является уменьшение емкости, отдаваемой аккумулятором,

с понижением температуры окружающей среды. Уже при температуре —40°С кислотные аккумуляторы практически полностью теряют свою емкость. Это обусловлено повышением вязкости электролита с понижением температуры. По этой же причине невозможно заряжать аккумуляторы уже при температуре, близкой к 0°С.

Поэтому в переносной аппаратуре все чаще применяются щелочные аккумуляторы различных типов: кадмиево-никелевые (КН), железо-никелевые (ЖН) и серебряно-цинковые (СЦ). Все они являются аккумуляторами закрытого типа.

Наиболее распространены КН и ЖН аккумуляторы. По своим конструктивным и электрическим характеристикам они незначительно отличаются друг от друга.

Как положительные, так и отрицательные пластины изготовляются в виде отдельных пакетов (ламелей) из тонкой перфорированной никелированной стали. Внутри пакета помещается активная масса. Пакеты впрессовываются в решетки из никелированной стали. Как положительные, так и отрицательные пластины соединяются между собой, а также с внешними выводами при помощи полосок никелированной стали, приваренных к пластинам.

Активная масса положительных пластин состоит из окислов никеля, смешанных с графитом для повышения ее электропроводности. Активная масса отрицательных пластин в КН аккумуляторах состоит из смеси порошкообразного кадмия, железа и их окислов, а в ЖН аккумуляторах — из железа и его окислов.

Пластины помещаются в сосуды, изготовленные из листового железа, при помощи сварки, наружная сторона которых никелируется для предохранения от коррозии. Пластины изолируются друг от друга эбонитовыми палочками, так что между ними остается зазор порядка миллиметра. В КН аккумуляторах положительные пластины прижаты или приварены к стенкам сосуда, вследствии чего сосуд находится под положительным потенциалом, а число положительных пластин на одну больше, чем отрицательных. В ЖН аккумуляторах сосуды находятся под отрицательным потенциалом и имеют больше (на одну) отрицательных пластин. К стенкам сосуда приваривается крышка, так что аккумулятор получается очень прочным.

В центре крышки имеется отверстие для заливки аккумулятора раствором электролита, закрываемое специальной пробкой с каналом для выхода газов.

В качестве электролита в КН и ЖН аккумуляторах применяется щелочь — водный раствор едкого калия с добавкой едкого лития или водный раствор едкого натрия с добавкой едкого лития. Плотность электролита колеблется в пределах 1,18—1,21 при 15°С. Введение в электролит едкого лития дает возможность увеличить срок службы аккумуляторов, по крайней мере, в три раза. Аккумуляторы с составным калиевым раствором нормально работают при температуре от —20°С до +35°С, а с составным натриевым — при температуре от 0°С до +45°С.

Достоинством щелочных аккумуляторов является то, что они не требуют тщательного ухода. Эти аккумуляторы не боятся сотрясений, могут быть длительно разряжены, устойчивы к перегрузкам и коротким замыканиям, которые опасны для кислотных аккумуляторов. Саморазряд щелочных аккумуляторов меньше, чем кислотных.

Существенным недостатком КН и ЖН аккумуляторов, ограничивающим их применение в стационарных установках электросвязи, является значительное изменение напряжения. Напряжение подзаряда, которое необходимо поддерживать на полностью заряженных КН и ЖН аккумуляторах, составляет 1,58—1,60 В на аккумулятор.

При отключении зарядного устройства ЭДС полностью заряженного КН аккумулятора падает до 1,4 В, а ЖН аккумулятора до 1,5 В. В процессе разряда КН и ЖН аккумуляторов напряжение понижается тем быстрее и достигает тем меньших значений, чем больше разрядный ток. Так, при восьмичасовом режиме разряда и температуре электролита +25°С напряжение обоих типов аккумуляторов составляет 1,15—1,18 В, т. е. внутреннее сопротивление их существенно больше, по сравнению с кислотными аккумуляторами. С повышением температуры электролита разрядное напряжение несколько повышается. Ток разряда определяется как частное от деления номинальной емкости аккумулятора на длительность режима разряда. Столь значительное изменение напряжения КН и ЖН аккумуляторов исключает возможность эксплуатации их в режиме непрерывного подзаряда. Номинальной емкостью КН и ЖН аккумуляторов считается емкость, которую отдают эти аккумуляторы в режиме восьмичасового разряда при напряжении не ниже 1,0 В и температуре 25°С. Понижение температуры электролита уменьшает емкость.

Нормальному режиму заряда КН и ЖН аккумуляторов соответствует ток, численно равный четверти номинальной емкости. Конечное напряжение заряда при этом составляет 1,78—1,80 В.

Еще одним существенным недостатком этих аккумуляторов, по сравнению с кислотными, является существенно меньшая отдача их по емкости и по энергии. Отдача по емкости составляет 0,66 при температуре +25°С, а по энергии — 0,47—0,5.

В настоящее время широко используются безламельные кадмиевоникелевые аккумуляторы (КНБ), обладающие существенно меньшими внутренним сопротивлением, габаритами и массой, чем ламельные КН аккумуляторы. Пластины этих аккумуляторов составляются не из отдельных пакетов (ламелей), а изготовляются прессовкой порошкообразной активной массы на стальную раму. Для изоляции пластин разной полярности используется капроновая ткань или пленка винипласта. Основными недостатками, ограничивающими применение КНБ аккумуляторов в стационарных установках электросвязи, являются малый срок службы и сравнительно высокая стоимость.

Благодаря высоким эксплуатационным показателям в последние годы широко применяются серебряно-цинковые аккумуляторы. Они по своему устройству аналогичны КНБ аккумуляторам. Активным материалом положительных пластин служит впрессованная окись серебра, а активный материал отрицательных пластин состоит из цинкового порошка. Блок положительных и отрицательных пластин размещают в пластмассовом корпусе.

Электролитом в СЦ аккумуляторе служит раствор едкого калия плотностью 1400 кг/м^3. Количество электролита, необходимого для работы аккумулятора, невелико. Поэтому аккумулятор может устанавливаться в любое положение, что является его большим преимуществом.

Для полностью заряженного аккумулятора ЭДС равна 1,82—1,86 В, напряжение при разряде — примерно 1,5 В.

Достоинством СЦ аккумуляторов являются очень малые внутреннее сопротивление, габариты и масса.

Аккумуляторы этого типа в 4—6 раз легче и меньше по объему, чем кислотные и щелочные. К достоинствам СЦ аккумуляторов следует отнести их малый саморазряд и возможность кратковременного разряда токами, в сотни раз превышающими номинальное значение. Аккумуляторы этого типа нормально работают в диапазоне температур от —30 до +70°С и характеризуются высокой отдачей по емкости (до 100%) и по энергии (до 85%).

Основным недостатком СЦ аккумуляторов является их высокая стоимость.

Источники электрической энергии переменного тока

11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основным источником электрической энергии для стационарных устройств и предприятий связи обычно является энергетическая система или электростанция.

Энергетической системой (энергосистемой) называется совокупность электростанций, подстанций и приемников электроэнергии, связанных между собой линиями электрической сети.

Подстанцией называется электроустановка, предназначенная для преобразования или распределения электрической энергии. В зависимости от назначения подстанции могут быть преобразовательными и распределительными.

Во всех энергосистемах электрическая энергия, вырабатываемая на электростанциях трехфазными синхронными генераторами переменного тока промышленной частоты 50 Гц, передается до места потребления при высоком напряжении. Применение высоких напряжений (6, 10, 35, 110, 220 и более киловольт) обеспечивает передачу больших мощностей на большие расстояния при относительно малых потерях энергии в системе передачи и распределения.

Приемники электрической энергии (предприятия связи) подключаются к распределительным устройствам энергосистемы через понижающие трансформаторные подстанции и линии электропередачи. Эти понижающие трансформаторные подстанции преобразуют высокое напряжение (6 или 10 кВ) в низкое напряжение 400/230 В.

На рис. 11.1 приведена возможная схема электроснабжения крупного предприятия связи. На понижающую трансформаторную подстанцию предприятия связи электрическая энергия подается при номинальном напряжении 10 кВ от двух независимых источников электроэнергии по двум линиям электропередачи. Одним источником электроэнергии является распределительная подстанция (распределительный пункт) энергосистемы, а вторым — теп-

лоцентраль (ТЭЦ), снабжающая потребителей электрической и тепловой энергией.

Распределительная подстанция получает электроэнергию от районной понижающей трансформаторной подстанции, преобразующей высокое напряжение 110 кВ в высокое напряжение 10 кВ, а также 35 кВ. Районная подстанция получает электроэнергию при напряжении 110 кВ от энергосистемы, а также от ТЭЦ через повышающую трансформаторную подстанцию.

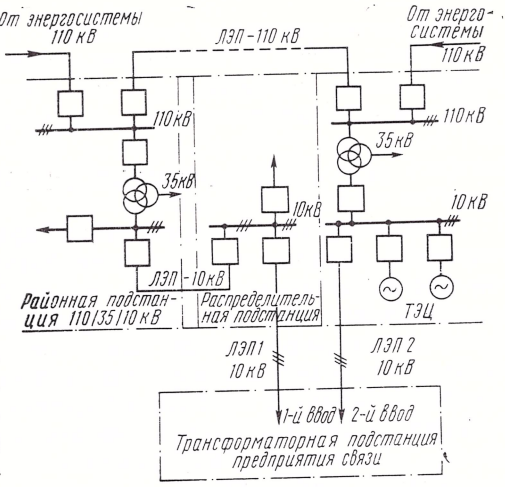


Рис. 11.1. Схема электроснабжения крупного предприятия связи

Предприятие связи, как правило, оборудуется собственной трансформаторной подстанцией, получающей электроэнергию по двум высоковольтным вводам (6 или 10 кВ) от двух (по возможности независимых) точек энергосистемы (рис. 11.1). Обычно аппаратура питается от шин 400 В трансформаторной подстанции. При большой мощности, потребляемой предприятием связи (более 300—400 кВА), аппаратура может питаться как от шин 400 В, так и от шин 6 или 10 кВ трансформаторной подстанции.

На предприятиях связи с общей потребляемой мощностью до 50 кВА может применяться собственная трансформаторная подстанция, оборудуемая одним высоковольтным вводом и одним трансформатором, и один низковольтный ввод от ближайшей существующей подстанции (с шин 400 и 230 В) или два низковольтных ввода от городских или ведомственных подстанций.

Колебания напряжения на низковольтных шинах собственной трансформаторной подстанции не должны превышать $\pm 5\%$ от номинального значения, а колебания частоты переменного тока не превышают $\pm 0{,}5\%$.

Для питания передвижных устройств связи, а также стационарных установок, расположенных в местах, где отсутствуют электрические сети переменного тока, широко применяются собственные электростанции. Собственные электростанции также широко применяются на предприятиях связи для резервирования внешних источников электроэнергии переменного тока. Собственные электростанции оборудуются, как правило, дизель-электрическими агрегатами с генераторами трехфазного переменного тока (при небольшой мощности — с однофазными генераторами) промышленной частоты 50 Гц.

Дизель-генераторные установки снабжаются специальными устройствами, позволяющими автоматически поддерживать частоту и напряжение переменного тока с достаточно высокой точностью (порядка $+1 \div 2\%$ по частоте и $\pm 2 \div 3\%$ по напряжению).

11.2. ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

Трансформаторные подстанции предприятий связи могут быть открытого типа, когда все оборудование располагается на открытой площадке вблизи здания и закрытого типа. В основном на предприятиях связи сооружаются подстанции закрытого типа, которые могут размещаться как в отдельном специальном здании вблизи предприятия связи, так и в основном здании или в пристройке к нему. Открытые подстанции применяются только для больших мощностей (несколько тысяч киловольтампер). При этом широко применяются комплектные и типовые распределительные устройства и подстанции.

На подстанции устанавливаются силовые понижающие трансформаторы, а также аппаратура для контроля, управления и защиты элементов подстанции и линий электропередачи от коротких замыканий.

К контрольной аппаратуре относятся амперметры, вольтметры, счетчики электроэнергии и измерительные трансформаторы. Элементами управления служат масляные выключатели и разъединители на стороне высокого напряжения, а также рубильники и выключатели на стороне низкого напряжения. К приборам защиты относятся реле максимального тока, реле времени, предохранители, разрядники (при наличии воздушных вводов), а также предохранители и автоматические выключатели на стороне низкого напряжения.

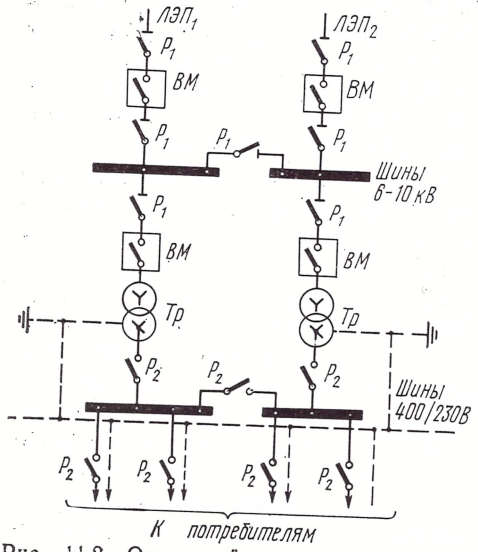


Рис. 11.2. Однолинейная схема понижающей подстанции

На рис. 11.2 приведена однолинейная схема понижающей подстанции с двумя силовыми трансформаторами и одной секционированной системой шин.

Электроэнергия на подстанцию подается по двум линиям электропередачи (фидерам)—ЛЭП1 и ЛЭП2. На вводах подстанции устанавливаются разъединители P_1, при помощи которых можно отсоединить (при отсутствии нагрузки) каждый из фидеров от трансформаторной подстанции. Далее устанавливаются масляные

выключатели *ВМ* (способные отключать фидеры от подстанции под нагрузкой и при коротких замыканиях), подключаемые через разъединители к сборным высоковольтным шинам. Эти шины разделены на две секции, которые могут соединяться между собой разъединителем. Силовые трансформаторы подключаются к секциям высоковольтных шин через разъединители и масляные выключатели (или высоковольтные предохранители). На стороне низкого напряжения силовые трансформаторы подключаются к распределительным шинам 400/230 В, разделенным также на две секции, рубильником P_2. Потребители подключаются к распределительным шинам через рубильники или автоматические выключатели. Для упрощения схемы на рис. 11.2 не показана контрольная аппаратура, а также реле максимального тока и времени.

Секционирование высоковольтных шин позволяет осуществлять питание каждого силового трансформатора от определенного источника электроэнергии, а также одного или обоих силовых трансформаторов от любого из источников электроснабжения.

На подстанциях предприятий связи в основном применяются трехфазные трансформаторы с естественным масляным охлаждением, обмотки которых, как правило, соединяются по схеме звезда—звезда с выведенной нейтральной точкой. Эти трансформаторы должны допускать возможность включения их на параллельную работу. Трансформаторы размещаются в отдельных камерах, имеющих железные двери, открывающиеся наружу. Перегородки между камерами выполняются обычно из кирпича или бетона. Для отвода тепла, выделяемого при работе трансформаторов, камеры оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией.

К приборам управления и защиты, в первую очередь, относятся масляные выключатели. Масляный выключатель — это трехфазный выключатель, контакты которого помещены в трансформаторное масло. Масло обеспечивает быстрое гашение электрической дуги, возникающей при разрыве цепи тока. Кроме того, при наличии масла разрыв цепи переменного тока происходит в момент перехода его через нуль, что исключает возможность появления перенапряжений в цепи. По конструкции масляные выключатели делятся на баковые (с большим объемом масла) и горшковые (с малым объемом масла).

На рис. 11.3 показан разрез бакового масляного выключателя. Весь механизм выключателя укреплен на верхней крышке *1* масляного выключателя, которая, в свою очередь, жестко укрепляется на кронштейнах. Бачок с маслом *2* может опускаться вниз, что обеспечивает легкий доступ к контактной системе. Контактная система состоит из неподвижных главных губок *3*, соединенных с токоведущими стержнями *4*, и подвижных ножей треугольной формы *5*, укрепленных на изоляционных штангах *6* (на рис. 11.3 показана контактная система для одной фазы). Такая система обеспечивает надежный контакт. Изоляционные штанги *6* прикрепляются к планке *7*, которая под действием пружины *9* стремится вырубить ножи выключателя, но в нормальных условиях удерживается элек-

тромеханической защелкой. Параллельно главным губкам (щеткам) устанавливаются небольшие губки — искрогасители *9*, несколько длиннее главных. Поэтому при выключении цепи обгорают не главные губки, а искрогасители, которые легко заменяются новыми. Губки крепятся к проходным изоляторам *10*.

Выключается масляный выключатель валом *11*, на конце которого имеется кривошип, поднимающий планку с ножами. При помощи вилки *12* этот вал соединяется с системой управления. Система управления позволяет включать и выключать масляный выключатель вручную, а также обеспечивает автоматическое выключение его при перегрузках и коротких замыканиях. Автоматическое выключение осуществляется при помощи реле максимального тока, реагирующее на увеличению тока в защищаемой цепи. Реле питается от вторичной обмотки трансформатора тока, первичная обмотка которого включена в защищаемую цепь.

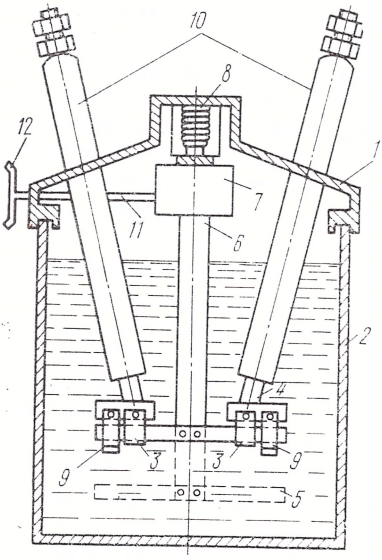


Рис. 11.3. Баковый масляный выключатель:

1 — крышка бака; *2* — стальной бак с маслом; *3* — главные контактные щетки (губки); *4* — токоведущие стержни; *5* — контактный нож; *6* — изоляционная штанга; *7* — механизм управления выключателем; *8* — пружина; *9* — искрогасительные губки; *10* — проходные изоляторы; *11* — вал; *12* — вилка

Масляным выключателем можно управлять непосредственно или дистанционно.

У масляных выключателей горшкового типа контактная система каждой фазы помещается в отдельный изолированный стальной цилиндр, заливаемый маслом. Характерной особенностью масляных выключателей этого типа является большая надежность в работе и их практическая взрывобезопасность вследствии малого количества масла и большой прочности цилиндров.

Основными параметрами масляных выключателей являются номинальные напряжение и ток, предельная разрываемая мощность в аварийном режиме (при коротком замыкании) и температурная устойчивость при длительных токах короткого замыкания.

Высоковольтные предохранители предназначаются для защиты от перегрузок и коротких замыканий основных силовых цепей (при отсутствии масляных выключателей) и измерительных цепей. Высоковольтный предохранитель представляет собой фарфоровую или бакелитовую трубку, армированную на концах металлическими ножами, включаемыми в губки, которые устанавливаются на высоковольтных изоляторах. Внутри трубки помещается плавкая вставка. Трубка предохранителя плотно засыпается песком и герметически запаивается, что исключает попа-

дание расплавленного металла на трубку при перегорании плавкой вставки.

Недостатком защиты предохранителями является то, что смена их требует сравнительно большого времени. Кроме того, при коротком замыкании очень часто сгорают все предохранители, включенные последовательно в цепь, и тем самым могут быть обесточены и другие потребители, не подвергшиеся аварии.

Для обеспечения селективности защиты на подстанциях применяются масляные выключатели в сочетании с реле максимального тока и реле времени.

Выдержка времени на срабатывание масляных выключателей, включенных последовательно в высоковольтную цепь, различна, что обеспечивает при аварии отключение только поврежденного участка. Максимальную выдержку времени на срабатывание имеет масляный выключатель, установленный на вводе подстанции.

Чтобы не нарушать электроснабжения предприятия связи при срабатывании устройств аварийной защиты в результате кратковременных перегрузок и коротких замыканий, применяется однократное автоматическое повторное включение (АПВ) питающего напряжения.

Разъединители монтируются на высоковольтных изоляторах и предназначаются для отключения трансформаторов, масляных выключателей и других аппаратов от высоковольтных цепей в отсутствии нагрузки. Устанавливаются они обычно на высоте, не доступной непосредственному случайному прикосновению (свыше 2,5 м), и выключаются специальной изолированной штангой. Разъединители могут быть однополюсными и трехполюсными.

Выключатели нагрузки отличаются от разъединителей тем, что оборудуются искрогасящими устройствами. Они предназначены для включения и отключения высоковольтных цепей напряжением до 10 кВ при токах до 400 А. Выключатели нагрузок не пригодны для разрыва цепей при коротком замыкании, поэтому их применяют в сочетании с плавкими предохранителями (вместо масляных выключателей).

Контрольная аппаратура, а также различные реле защиты и автоматики включаются в цепь высокого напряжения через измерительные трансформаторы напряжения и тока.

Измерительные трансформаторы напряжения — это однофазные или трехфазные трансформаторы напряжения небольшой мощности с высоковольтными первичными и низковольтными вторичными обмотками (напряжение вторичной обмотки равно 100 В). Первичную обмотку, хорошо изолированную от вторичной и от корпуса, включают в цепь высокого напряжения через разъединители, предохранители и ограничительные сопротивления (для ограничения тока короткого замыкания).

Ко вторичной обмотке, заземленной в одной точке для обеспечения безопасности обслуживающего персонала и сохранности приборов при пробое изоляции, подключают контрольную аппаратуру и другие приборы.

Первичная обмотка измерительного трансформатора тока, имеющая один или несколько витков, включается непосредственно в разрыв высоковольтной цепи и должна быть хорошо изолирована от вторичной и корпуса. Вторичная обмотка, заземленная в одной точке, рассчитывается на ток 5 А.

Трансформаторные подстанции закрытого типа в зависимости от мощности и количества устанавливаемого в них оборудования могут размещаться на одном или двух этажах. Подстанции небольшой мощности размещаются на одном этаже. При применении двухэтажных подстанций тяжелое оборудование — силовые трансформаторы, масляные выключатели — располагаются на нижнем этаже, а более легкое оборудование — разъединители, измерительные трансформаторы и пр. — на верхнем.

Минимальные расстояния от подстанций до соседних зданий определяется типом этих зданий в зависимости от огнестойкости и не должны быть менее 3 м. Встроенные подстанции, как правило, размещаются только в несгораемых зданиях. Стены, перегородки и перекрытия самих подстанций должны быть несгораемыми. Двери помещений подстанций выполняются из стали или из дерева с огнестойким покрытием.

Силовые трансформаторы и масляные выключатели с устройствами аварийной максимальной защиты размещаются в отдельных камерах (в каждой камере один трансформатор или один выключатель). Камеры, как правило, оборудуются разъединителями, измерительными трансформаторами тока и устройствами сигнализации. На передней стороне камер монтируются устройства для управления разъединителями и масляными выключателями.

Аппаратура низкого напряжения устанавливается в отдельной камере на щите. Измерительные трансформаторы напряжения обычно размещаются также в отдельных камерах (по несколько штук) и устанавливаются непосредственно на полу или на специальных металлических конструкциях.

11.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ СВЯЗИ

В качестве основного или резервного источника электрической энергии переменного тока для питания стационарных и передвижных предприятий (установок) связи применяются собственные электростанции, оборудуемые, как правило, дизель-генераторными (электрическими) агрегатами.

Дизель-генераторный агрегат состоит из двигателя внутреннего сгорания типа дизель и синхронного генератора трехфазного переменного тока промышленной частоты 50 Гц, смонтированных на одной общей раме и механически соединенных между собой упругой муфтой.

Двигатели типа дизель используют принцип практически адиабатического сжатия воздуха в цилиндрах до высокого давления

$35 \cdot 10^5$ Па и более) и его нагрева при этом до температуры, достаточной для самовоспламенения горючего, впрыскиваемого в надлежащий момент в конце такта сжатия. Эти двигатели по сравнению с бензиновыми более экономичны, работают на более дешевых сортах топлива и имеют больший срок службы, но обладают худшими пусковыми характеристиками (расход энергии и длительность пуска). Длительность пускового режима существенно зависит от температуры воды и масла в двигателе. Если не осуществлять подогрев воды и масла в двигателе, то пусковой режим может длиться 10—20 мин, что в ряде случаев недопустимо. При поддержании определенной температуры воды и масла длительность пускового режима может быть сокращена до 20—30 с.

Пуск двигателя, как правило, осуществляется с помощью электростартера. Электростартер представляет собой электродвигатель постоянного тока, с последовательной обмоткой возбуждения, сцепляемый при помощи специального зубчатого приводного механизма с маховиком двигателя. Питание электростартера осуществляется от кислотных стартерных аккумуляторных батарей. Нагрузка подключается к агрегату после того, как дизель достигнет скорости вращения, близкой к номинальной. На электростанциях предприятий связи в основном применяются четырехтактные быстроходные бескомпрессорные дизели, рассчитанные на 1500 об/мин.

Мощность дизеля при постоянном числе оборотов его регулируется изменением количества топлива, поступающего в цилиндры (при постоянном количестве воздуха) с помощью центробежных регуляторов. При этом необходимо, чтобы коэффициент мощности ($\cos\varphi$) нагрузки, подключаемой к синхронному генератору, был не меньше 0,4—0,5. Если это условие не выполняется, то происходит неполное сгорание топлива, что вызывает коксование цилиндров и выхлопного коллектора и приводит к выходу дизеля из строя. Коэффициент мощности повышается включением компенсирующих конденсаторов параллельно нагрузке в цепь переменного тока. Это подключение должно быть выполнено так, чтобы с отключением данного потребителя отключалась и соответствующая группа компенсационных емкостей. В противном случае при отключении нагрузки угол φ может стать опережающим и напряжение резко повысится. При параллельной работе дизель-электрического агрегата с сетью или другими агрегатами реактивная мощность регулируется за счет изменения тока возбуждения синхронного генератора.

Для обеспечения нормальной работы дизель-электрического агрегата дизель необходимо охлаждать. В дизель-электрических агрегатах применяется, как правило, замкнутая система охлаждения с принудительной циркуляцией воды. В этом случае вода при помощи центробежного насоса принудительно прогоняется через рубашку двигателя (пространство между стенками цилиндров) и радиатор. Радиатор (а следовательно, и вода, проходящая через

него) охлаждается вентилятором, который приводится во вращение самим охлаждаемым дизелем или электродвигателем. Из радиатора охлажденная вода вновь подается центробежным насосом в рубашку дизеля. Дизель работает наиболее экономично, если температура воды, выходящей из рубашки двигателя, поддерживается в пределах 80—90°С. При более низкой температуре увеличиваются потери и повышается износ деталей, за счет ухудшения смазочных свойств масла.

Дизель останавливается прекращением подачи топлива или воздуха в его цилиндры. Прекращение подачи воздуха обеспечивает более быструю остановку.

В качестве генераторов в агрегатах могут применяться трехфазные синхронные генераторы как с самовозбуждением, так и с возбудителем. Возбудитель — генератор постоянного тока с параллельным возбуждением, питающий обмотку возбуждения синхронного генератора. Напряжение синхронных генераторов регулируется изменением тока возбуждения их, либо автоматическими регуляторами напряжения, либо с помощью ручных регуляторов. Дизель-электрические агрегаты выпускаются на мощность от 1 до 2000 кВт.

В настоящее время на предприятиях связи все чаще применяются автоматизированные электростанции с дизель-электрическими агрегатами, так как применение их дает возможность значительно сократить эксплуатационные расходы за счет уменьшения обслуживающего персонала. Кроме того, автоматизация собственных электростанций повышает надежность работы и срок службы агрегатов за счет создания наиболее оптимальных режимов работы их. Причем степень автоматизации собственных электростанций может быть различной.

Ниже рассматриваются принципы автоматизации собственных электростанций применительно к наиболее распространенным модернизированным дизель-электрическим агрегатам типа ДГА-М (третья степень автоматизации согласно ГОСТ 10032—69). Эти агрегаты рассчитаны для использования их в помещениях с температурой от +8 до +50°С и относительной влажностью до 95% при температуре +20°С.

Пусковой режим. Агрегат автоматически запускается при нарушении нормального электроснабжения предприятия связи (от внешних источников или от одного из дизель-электрических агрегатов собственной электростанции) или в случае понижения температуры в помещении электростанции ниже +8°С. Пуск двигателя осуществляется с помощью электростартера. Если пуск с первого раза не состоялся, то предусматривается его повторение до трех раз с определенным интервалом. Нагрузка подключается к агрегату после того, как дизель разовьет 1400 об/мин при температуре воды и масла +35°С.

Для сокращения длительности пускового режима предусматривается поддержание определенной температуры воды и масла в двигателе при помощи специальных электроподогревателей.

Пуск агрегата может производиться также дистанционно с помощью различных систем телеуправления.

Рабочий режим. В этом режиме осуществляется стабилизация напряжения переменного тока на выходе агрегата с точностью ±2% при изменении величины нагрузки на агрегат от 0 до 100%. Такая точность стабилизации обеспечивается за счет введения в автоматический регулятор дополнительных обратных связей по току нагрузки и углу сдвига по фазе между векторами тока нагрузки и напряжения (принцип фазового компаундирования).

Кроме того, в этом режиме подзаряжаются аккумуляторные батареи, предназначенные для питания электростартера и цепей автоматики, а также автоматически поддерживается уровень смазочного масла в картере дизеля с помощью специального поплавко-клапанного устройства. Это дает возможность обеспечить автоматическую работу агрегата без обслуживания в течение 200 часов. В течение этого времени агрегат может работать как непрерывно, так и с перерывами.

Остановка. Остановка агрегата может быть как нормальной, так и аварийной. Нормальная остановка агрегата предусматривается при восстановлении внешнего электроснабжения предприятия связи или при пуске другого агрегата электростанции в соответствии с графиком работы агрегатов и осуществляется путем прекращения подачи топлива в цилиндры. При этом остановка агрегата происходит с выдержкой порядка 3 мин, необходимой для проверки устойчивости появившегося напряжения.

Аварийная остановка предусматривается в следующих случаях:

— недопустимая перегрузка генератора или отсутствие напряжения на шинах его;

— повышение числа оборотов дизеля до 1700+50 об/мин;

— повышение температуры воды в системе охлаждения дизеля свыше нормы (до 100+5°С);

— понижение давления масла в системе смазки дизеля до 1,5—1,9 кг/см^2;

— понижение уровня воды в радиаторе системы охлаждения дизеля ниже нормы;

— нарушение питания цепей автоматики.

Приборы управления, коммутации, измерения, защиты и регулирования напряжения генераторов собственных электростанций устанавливаются в специальных щитах управления и распределения (ЩДГА).

Для создания полностью необслуживаемых электростанций, способных длительное время работать без вмешательства технического персонала, автоматизируются и так называемые вспомогательные процессы:

— поддержание уровня топлива в расходном топливном баке, устанавливаемом в помещении электростанции, подкачка топлива осуществляется насосом с электроприводом;

— синхронизация генераторов двух агрегатов или генератора агрегата с сетью внешнего электроснабжения;

— включение и выключение фидеров внешнего электроснабжения при помощи дополнительных щитов ЩАВ, фидер отключается в отсутствии напряжения на любой из трех фаз или понижении его ниже допустимого значения, а включается — при повышении напряжения до требуемого значения;

— включение и выключение приточной и вытяжной вентиляции в помещении электростанции, что обеспечивает поддержание в нем температуры воздуха в определенных пределах;

— включение при температуре +10°С и выключение при температуре +20°С электропечей в помещении электростанции.

Оборудование собственных электростанций стационарных предприятий связи размещается в специальных помещениях. Эти помещения могут устраиваться как в отдельных зданиях, так и в технических зданиях предприятий связи. В отдельных одноэтажных зданиях размещаются электростанции с тихоходными дизелями (менее 1000 об/мин), а также электростанции с быстроходными дизелями мощностью более 500 кВт. Размеры помещений электростанций определяются при проектировании и зависят от устанавливаемого в нем оборудования. Агрегаты устанавливаются на фундаментах, отделенных от примыкающих конструкций амортизирующими прокладками для исключения вибрации другого оборудования в помещении электростанции, а также в соседних помещениях.

11.4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СВЯЗИ

В электроустановках предприятий связи широко используется резервирование электроснабжения путем переключения питания потребителей с поврежденного на исправно действующий источник электроэнергии переменного тока. Применение автоматического включения резерва (АВР) дает возможность сократить перерывы в подаче электроэнергии переменного тока, а следовательно, уменьшить количество и мощность резервного оборудования (уменьшить емкость аккумуляторных батарей выпрямительно-аккумуляторных установок и устройств гарантированного питания переменного тока, число агрегатов собственной электростанции, мощность силовых трансформаторов, устанавливаемых на трансформаторной подстанции), а также позволяет создать электроустановку, не нуждающуюся в постоянном присутствии обслуживающего персонала. В электроустановках предприятий связи обычно оборудуется АВР на стороне низкого напряжения. Для применения АВР необходимо наличие, по крайней мере, двух независимых источников электроэнергии. Такими источниками могут быть как вводы от внешней сети (от энергосистемы), так и собственная резервная электростанция.

На рис. 11.4 приведена схема АВР на стороне низкого напряжения при наличии двух независимых источников электроэнергии переменного тока и централизованном подключении потребителей.

Принцип работы схемы заключается в следующем. В нормальных условиях при подаче напряжения от источника *1* срабатывают реле $P_н$ и включают контактор $K_н$, через который осуществляется питание потребителей. При этом источник 2 контактором $K_а$ отключен от потребителей, так как цепь питания его обмотки разорвана нормально замкнутыми контактами реле $P_н$.

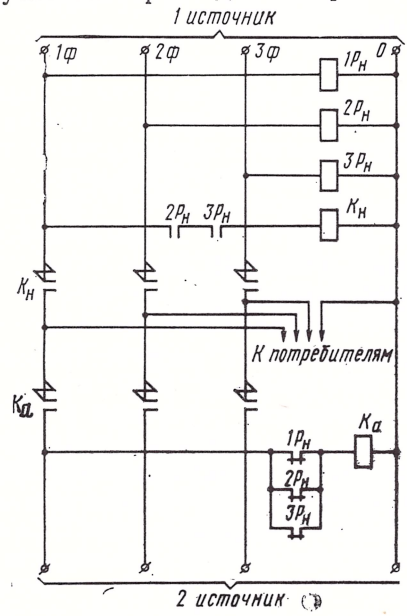


Рис. 11.4. Схема АВР:
$K_н$ — контактор нормального питания;
$K_а$ — контактор аварийного питания;
$P_н$ — реле, управляющее работой контакторов

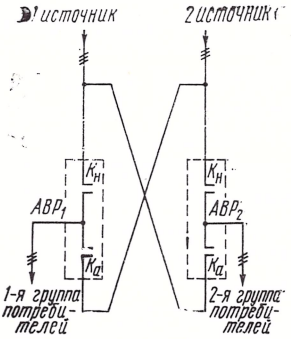


Рис. 11.5. Схема АВР

При прекращении подачи энергии от первого источника или пропадании напряжения одной из фаз его $P_н$ отпускают, в результате чего контактор $K_н$ отключается, а контактор $K_а$ включается и потребители получают электроэнергию от второго источника. При восстановлении электроснабжения от первого источника АВР переключается потребителей вновь на этот источник.

Если потребители предприятия связи могут быть разделены на две группы, применяется несколько видоизмененная схема АВР, при которой одна группа потребителей получает электроэнергию от одного источника, а другая — от второго (рис. 11.5). При отключении любого из источников внешнего электроснабжения до запуска резервной электростанции (при наличии ее) питание обеих групп потребителей осуществляется от одного исправного источника внешнего электроснабжения. На рис. 11.5 приведена однолинейная упрощенная схема АВР. Принципиальная схема устройств $АВР_1$ и $АВР_2$ приведена на рис. 11.4.

Устройства гарантированного питания переменным током

12.1. НАЗНАЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ ГАРАНТИРОВАННОГО ПИТАНИЯ (УГП)

В настоящее время предъявляются очень высокие требования к надежности и достоверности передаваемой информации, что требует исключения даже кратковременных перерывов в электропитании. Однако даже при наличии двух вводов от независимых источников внешнего электроснабжения, с применением устройств АВР, перерывы в подаче электропитания аппаратуры связи составляют 0,6—0,7 с. А при переходе от источников внешнего электроснабжения на резервную полностью автоматизированную собственную электростанцию перерыв в электропитании достигает 20—30 с. Для исключения перерывов в электропитании устройств связи (или уменьшения их длительности до допустимых значений), связанных с переходом от основного источника электроэнергии на резервный, необходимо иметь соответствующий аккумулятор энергии, всегда готовый к действию. В качестве такого аккумулятора используются электрические акумуляторные батареи или механические аккумуляторы — инерционные маховики.

Несмотря на то что подавляющая часть аппаратуры связи потребляет энергию в виде постоянного тока, между потребителями (отдельными видами аппаратуры, блоками и т. д.) предприятия связи она распределяется, как правило, переменным током. Это дает возможность исключить гальваническую связь между потребителями по цепям питания. При этом не требуются мощные распределительные сети с малыми потерями напряжения, что очень существенно при низких уровнях питающих напряжений.

Кроме того, переменный ток используется для питания цепей накала большинства электронных ламп, магнитных усилителей, электродвигателей, систем автоматики и различных вспомогательных устройств (цепей управления, сигнализации, блокировки и т. д.).

Поэтому даже при наличии соответствующих аккумуляторов энергии необходимы специальные устройства, обеспечивающие бесперебойность электроснабжения аппаратуры связи энергией

переменного тока. Такие УГП широко применяются на предприятиях связи. Естественно, что эти устройства должны быть полностью автоматизированными.

В УГП переменным током могут быть использованы как электромашинные, так и статические преобразователи.

На предприятиях связи широко применяются УГП с электромашинными преобразователями УГП-ЭМ. Это объясняется тем, что они надежны в работе, хорошо поддаются автоматизации, обеспечивают экономичное регулирование и синусоидальность формы кривой напряжения, а также обеспечивают надежную защиту аппаратуры от помех со стороны сети электроснабжения. УГП-ЭМ могут применяться в сочетании как с электрическими, так и с механическими аккумуляторами.

Наряду с УГП-ЭМ разрабатываются и внедряются УГП с полупроводниковыми инверторами. Такие инверторы выполняются, как правило, на тиристорах и только при малой мощности и низких напряжениях аккумуляторных батарей — на транзисторах. В отличие от УГП-ЭМ такие устройства небольшой и средней мощности практически бесшумны в работе и могут устанавливаться в одном помещении с аппаратурой связи. Ввиду отсутствия вращающихся частей УГП с полупроводниковыми инверторами более надежны по сравнению с УГП-ЭМ.

12.2. УГП С АВТОМАТИЧЕСКИ ЗАПУСКАЕМЫМИ (РЕЗЕРВНЫМИ) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Структурная схема УГП с резервным электромашинным преобразователем показана на рис. 12.1.

При наличии напряжения в сети переменного тока от источника внешнего электроснабжения или от собственной резервной дизель-генераторной электростанции АДГЭ аппаратура связи получает питание непосредственно от сети через замкнутые контакты контактора *Н* устройства $АВР_2$, как показано на рис. 12.1, или через стабилизатор напряжения переменного тока. Электромашинный преобразователь при этом отключен от нагрузки и от аккумуляторной батареи *АБ* (контакторы *А* устройства $АВР_2$ и *К* разомкнуты) и находится в «холодном» резерве (не вращается) или в «горячем» резерве (приводится во вращение маломощным вспомогательным асинхронным двигателем *АД*). Аккумуляторная батарея получает непрерывный подзаряд от выпрямительного устройства *ВУ*, от которого при необходимости получают питание и другие потребители постоянного тока.

При пропадании напряжения на шинах негарантированного переменного тока, а также отклонении величин напряжения или частоты тока от допустимых двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением ДПТ автоматически подключается к аккумуляторной батарее при помощи контактора *К* и после установления требуемого напряжения переменного тока на выходе

синхронного генератора *СГ* контакторы *А* и *Н* устройства $АВР_2$ автоматически переключают питание аппаратуры на электромашинный преобразователь.

Если электромашинный преобразователь находится в «холодном» резерве, то перерыв в питании определяется временем привода во вращение электромашинного агрегата и возбуждения синхронного генератора, а также временем переключения контакторов и составляет 2—3 с.

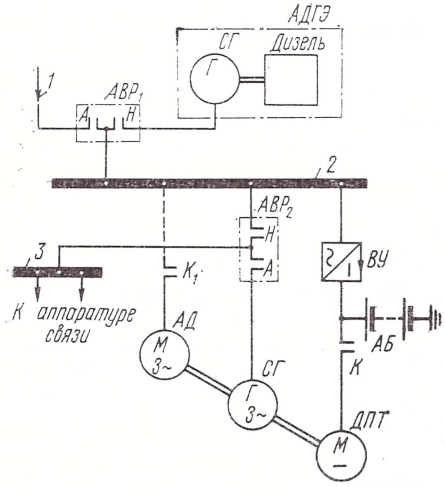


Рис. 12.1. Структурная схема УГП-ЭМ с автопускаемым агрегатом:

1 — внешнее электроснабжение; *2* — шины негарантированного переменного тока 400/230 В; *3* — шины гарантированного переменного тока 380/220 В

Если электромашинный преобразователь вращается вхолостую при помощи вспомогательного асинхронного двигателя, а генератор СГ находится в возбужденном состоянии, то продолжительность перехода от внешнего источника на УГП определяется только временем переключения контакторов и составляет 0,15—0,5 с. При использовании устройств бесконтактной коммутации на тиристорах перерыв в питании может составлять 20—30 мс.

В качестве преобразователя в УГП рассмотренного типа могут применяться полупроводниковые инверторы.

В схеме УГП на рис. 12.2 инвертор выполнен на тиристорах $Д_3$ и $Д_4$ по однофазной параллельной схеме с выводом средней точки обмотки трансформатора *Тр*. Тиристоры включаются попеременно при помощи генератора импульсов управления *ГИУ*, а

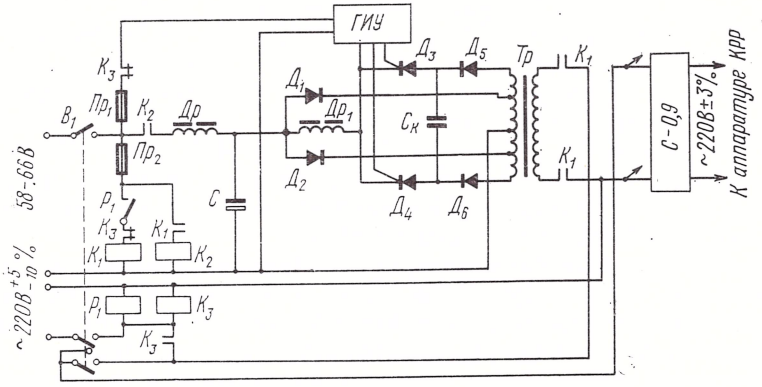


Рис. 12.2. Схема УГП с автопускаемым тиристором инвертором типа ИТ-220/15

выключаются — за счет коммутирующих элементов $C_к$ и $Др_к$. Обратные диоды $Д_1$ и $Д_2$ возвращают избыточную реактивную энергию, накопленную в индуктивной нагрузке и реактивных коммутирующих элементах ($C_к$, $Др_к$) в источник питания, что позволяет получить более жесткую внешнюю характеристику инвертора и обеспечивает его работоспособность в режиме холостого хода. Отсекающие диоды $Д_5$ и $Д_6$ исключают разряд конденсатора $C_к$ через первичную обмотку трансформатора при случайном насыщении материала сердечника. Входной фильтр *ДрС* предназначен для уменьшения пульсации напряжения на шинах источника питания при работе инвертора.

Тиристорный инвертор ИТ-220/15 предназначен для питания потребителей гарантированного переменного тока на АТС и МТС. Источником питания инвертора является аккумуляторная батарея напряжением 58—66 В. Выходное напряжение 220 В инвертора стабилизируется феррорезонансными стабилизаторами типа С-0,9 с точностью ±3%. Максимальный ток нагрузки —15 А. Каждый инвертор может обеспечить электроэнергией четыре стабилизатора С-0,9. КПД инвертора при полной нагрузке равен 80%. Ток, потребляемый от аккумуляторной батареи, составляет примерно 60 А. Коэффициент нелинейных искажений не превышает 20%.

При наличии внешнего электроснабжения питание аппаратуры осуществляется от сети переменного тока, а инвертор отключен от акукмуляторной батареи и от нагрузки контактами контакторов K_2 и K_1.

При нарушении внешнего электроснабжения тиристорный инвертор контактором K_2 подключается к аккумуляторной батарее, а контактором K_1 — к феррорезонансным стабилизаторам. Питание *ГИУ* осуществляется от аккумуляторной батареи через нормально замкнутые контакты контактора K_3. Время включения инвертора не превышает 0,3 с. Отключение инвертора от аккумуляторной батареи производится выключателем B_1.

Достоинством УГП с резервными преобразователями является высокий КПД электропитающей установки в нормальном режиме ее работы (при наличии напряжения в сети переменного тока).

Основным недостатком УГП с резервными преобразователями является перерыв в питании аппаратуры при переходе с сети на преобразователь и с преобразователя на сеть. Кроме того, нагрузка подключается к преобразователю скачкообразно, что значительно изменяет форму выходного напряжения преобразователя в переходном режиме.

12.3. УГП С ОБРАТИМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Структурная схема УГП-ЭМ с обратимым двухмашинным агрегатом показана на рис. 12.3. Двухмашинный преобразователь состоит из синхронной машины *СГ* и машины постоянного тока *ДПТ* с параллельным возбуждением.

При наличии напряжения в сети переменного тока от источника внешнего электроснабжения или от собственной дизель-генераторной электростанции АДГЭ аппаратура связи получает питание непосредственно от сети переменного тока через реактор P и контакт контактора K_1. Двухмашинный агрегат подключен к сети переменного тока и вращается на холостом ходу. Синхронная машина работает в режиме двигателя, а машины постоянного тока — в режиме генератора. Аккумуляторная батарея получает непрерывный подзаряд от выпрямительного устройства ВУ, от которого при необходимости получают питание и другие потребители постоянного тока.

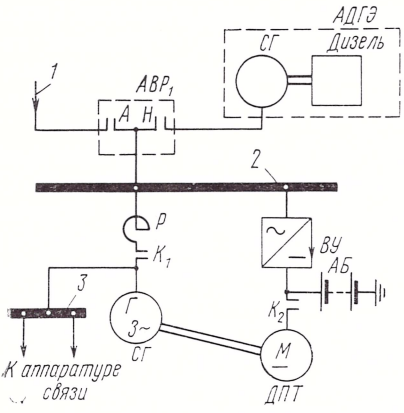


Рис. 12.3. Структурная схема УГП-ЭМ с обратимым преобразователем:

1 — внешнее электроснабжение; *2* — шины негарантированного переменного тока 400/230 В; *3* — шины гарантированного переменного тока 380/220 В

В случае исчезновения напряжения или его уменьшения ниже допустимого значения на шинах негарантированного переменного тока срабатывает контактор K_1 и отключает синхронную машину от сети переменного тока. Синхронная машина переходит в режим работы генератора, а машина постоянного тока работает в режиме двигателя и получает электрическую энергию от аккумуляторной батареи через контакт контактора K_2. Перерыва в питании аппаратуры не происходит, но напряжение снижается на 10% от номинального значения, так как с момента пропадания напряжения в сети переменного тока до момента отключения контактора K_1 синхронный генератор нагружается потребителями внешней сети.

Нагрузка на синхронный генератор в этот период ограничивается реактором. Обратный переход с агрегата на внешнюю сеть осуществляется при предварительной синхронизации генератора с внешней сетью.

Если УГП-ЭМ с обратимым преобразователем, то его КПД ниже, чем у УГП-ЭМ с автопускаемым двухмашинным агрегатом, но достаточно высок, так как в нормальном режиме агрегат вращается вхолостую, потребляя сравнительно малую мощность.

Недостатком УГП-ЭМ с обратимым преобразователем является низкий коэффициент мощности (не более 0,7) из-за включения реактора, имеющего значительную индуктивность. Кроме того, система автоматики получается сложной, что связано с необходимостью мгновенной перенастройки возбуждения обеих машин при переводе из генераторного режима в двигательный режим и обратно.

12.4. УГП С ДВОЙНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ

В УГП с двойным преобразованием энергии переменный ток преобразуется в постоянный с помощью выпрямительного устройства, а затем постоянный ток снова преобразуется в переменный. В качестве преобразователя могут быть применены как электромашинные, так и статические устройства.

Структурная схема такого УГП показана на рис. 12.4. При наличии напряжения на шинах негарантированного переменного тока двигатель постоянного тока *ДПТ* с параллельным возбуждением получает питание от выпрямительного устройства *ВУ* и приводит во вращение синхронный генератор *СГ*. Потребители гарантированного переменного тока получают стабилизированное напряжение от *СГ* через замкнутые контакты контактора *Н* устройства автоматического включения резерва $АВР_2$. Контакты контактора *А* при этом разомкнуты. Аккумуляторная батарея *АБ* работает в режиме непрерывного подзаряда параллельно с *ВУ*, от которого получают питание также устройства управления, контроля и защиты УГП-ЭМ, а при необходимости и другие потребители постоянного тока.

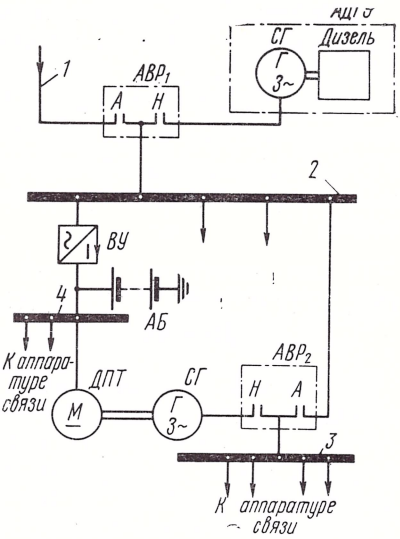


Рис. 12.4. Структурная схема УГП-ЭМ с двойным преобразованием энергии:

1 — внешнее электроснабжение; *2* — шины негарантированного переменного тока 400/230 В; *3* — шины гарантированного переменного тока 380/220 В; *4* — шины постоянного тока

В отсутствии напряжения на шинах негарантированного переменного тока, а также при отклонении величин напряжения или частоты тока от допустимых отключается *ВУ*, а *ДПТ* получает питание от *АБ*. Для стабилизации напряжения на зажимах *АБ* она выполняется секционированной, а число элементов ее, подключенных к шинам постоянного тока, изменяется автоматически специальным устройством.

Так как электромашинный преобразователь работает непрерывно, то для повышения надежности электроустановки предприятия связи он резервируется. При неисправности рабочего преобразователя автоматически включается резервный двигатель-генератор и принимает на себя нагрузку. Длительность переключения нагрузки с рабочего преобразователя на резервный составляет 2—3 с.

Аппаратура может получать питание также с шин негарантированного переменного тока непосредственно, как показано на рис. 12.4, или через стабилизатор. Длительность переключения нагрузки с *УГП* на питание от шин негарантированного переменного

тока определяется временем срабатывания ABP_2 и составляет 20 мс (при применении бесконтактной коммутации).

УГП с автопускаемым тиристорным инвертором (рис. 12.2) может быть использовано как УГП с двойным преобразованием энергии. В этом случае контакты контакторов K_1 и K_2 должны быть постоянно замкнутыми. Внешняя сеть при этом используется как резервный источник питания.

Достоинством схем УГП с двойным преобразованием энергии является высокое качество вырабатываемой электроэнергии как при наличии, так и в отсутствие внешнего электроснабжения.

Существенным недостатком схем УГП с двойным преобразованием энергии является низкий КПД электропитающей установки. КПД всей установки определяется произведением КПД выпрямительного устройства $\eta_{ВУ}$ и преобразователя постоянного тока в переменный $\eta_{пр}$, т. е. $\eta_{УГП} = \eta_{ВУ} \cdot \eta_{пр}$. Еще одним недостатком УГП с двойным преобразованием энергии является наличие мощных выпрямительных устройств, что повышает стоимость установки.

12.5. УГП С ТРЕХМАШИННЫМИ АГРЕГАТАМИ С ПРИВОДОМ ОТ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Наиболее распространены УГП переменным током с трехмашинными агрегатами. Они применяются в электроустановках на сухопутных магистралях коаксиального и комбинированного кабелей, а также на морских магистралях подводного кабеля и радиорелейных линиях, в тех случаях, когда требуется надежное и бесперебойное электропитание аппаратуры.

Рассмотрим рис. 12.5. Трехмашинный агрегат состоит из трехфазного асинхронного двигателя *АД*, трехфазного синхронного генератора *СГ* и двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением *ДПТ*, находящихся на одном валу и смонтированных на одной фундаментной раме. Установка имеет резервную аккумуляторную батарею *АБ* и зарядно-буферное выпрямительное устройство *ВУ*.

В нормальном режиме работы электропитающей установки трехмашинный агрегат вращается асинхронным двигателем от сети переменного тока. Питание аппаратуры осуществляется стабилизированным напряжением от *СГ*. Машина постоянного тока отключена от *АБ* и работает в режиме генератора. Аккумуляторная батарея работает в режиме непрерывного подзаряда параллельно с автоматизированным выпрямительным устройством, от которого питается цепь управления двигателя постоянного тока преобразовательной установки.

При исчезновении напряжения сети переменного тока или изменении его свыше допустимых пределов, а также в случае повреждения в цепи асинхронного двигателя двигатель постоянного тока автоматически подключается к аккумуляторной батарее и

трехмашинный агрегат продолжает вращаться без остановки под действием вращающего момента двигателя постоянного тока. Асинхронный двигатель отключается от сети контактором K_1 только после того, как начинает работать двигатель постоянного тока. Время переходного процесса при смене привода агрегата с сети переменного тока на постоянный составляет 1,5—2,0 с. В переходном режиме изменение напряжения (частоты тока) на выходе генератора составляет ±5% от номинального значения.

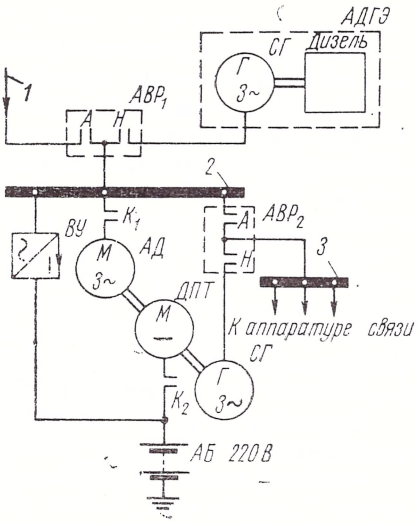


Рис. 12.5. Структурная схема УГП с трехмашинным агрегатом с приводом от переменного и постоянного тока:

1 — внешнее электроснабжение; *2* — шины негарантированного переменного тока 400/230 В; *3* — шины гарантированного переменного тока 380/220 В

При восстановлении внешнего электроснабжения или включения резервной электростанции обратная смена привода осуществляется также автоматически. Асинхронный двигатель подключается к сети, а уже после этого отключается от *АБ* двигатель постоянного тока. При переходе с привода постоянного тока на переменный время переходного процесса составляет около 1 с, а колебания напряжения на выходе генератора не превышает ±3% от номинального значения.

Так как трехмашинный агрегат находится непрерывно в работе, то для повышения надежности электроустановки предприятия связи он резервируется. В случае повреждения рабочего трехмашинного агрегата автоматически запускается и подключается к нагрузке резервный. Однако перерыв в питании аппаратуры при этом может достигать 10 с.

Для уменьшения перерыва в питании аппаратуры при аварийном переходе с рабочего на резервный агрегат нагрузка может получать питание от сети переменного тока через контактор *А* устройства $АВР_2$. В этом случае перерыв в питании определяется временем переключения контакторов устройства $АВР_2$.

Достоинством УГП с трехмашинными агрегатами по сравнению с УГП-ЭМ при двойном преобразовании энергии является более высокий КПД и коэффициент мощности, а также большая надежность электроустановки, благодаря наличию двух приводных электродвигателей, резервирующих друг друга.

Промышленностью выпускаются комплекты оборудования для УГП с трехмашинными агрегатами на мощности 24, 50 и 100 кВт в одном агрегате. Это позволяет комплектовать установки трех-

фазного переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380/220 В, мощностью от 24 до 400 кВт [39].

Обычно *УГП* состоят из одного, двух, трех и четырех трехмашинных агрегатов при одном резервном.

Применение децентрализованной системы электропитания дает возможность повысить надежность работы части аппаратуры. Поэтому на магистралях коаксиального кабеля не рекомендуется применять УГП меньше, чем с двумя рабочими и одним резервным агрегатом. Как показано в [40], применение УГП, состоящих из четырех рабочих агрегатов вместо двух, дает возможность увеличить среднее время наработки на отказ (при условии сохранения электропитания 50% аппаратуры связи) на два порядка. Кроме того, применение децентрализованной системы электропитания дает возможность постепенно наращивать мощности по мере ввода в действие аппаратуры отдельных систем передачи информации.

Агрегаты УГП-ЭМ-50 комплектуются из следующих электрических машин:

— трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа А-91-4 (75 кВт, 1470 об/мин, 380/220 В);

— трехфазный синхронный генератор типа ЕСС-91-4щ (50 кВт, 1500 об/мин, 400 В);

— двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением типа П-102 (75 кВт, 1000 об/мин, 220 В).

Обычно УГП-ЭМ-50 обеспечивает на выходе стабильность напряжения с точностью $\pm 2\%$ и частоты тока 49,5 Гц с точностью при смене приводов и при разряде батареи ± 2 Гц. КПД при полной нагрузке равен 0,8, а при половинной — 0,7.

Трехмашинными агрегатами управляют с панелей управления и автоматики. На этих же панелях размещены устройства коммутации, защиты и сигнализации. Установка мощностью 100 кВт (два рабочих и один резервный агрегат) содержит 16 панелей управления и коммутации.

В УГП-ЭМ-50 как рабочие, так и резервные трехмашинные агрегаты запускаются от привода постоянного тока при отключенной нагрузке.

В начальный момент пуска якорь двигателя неподвижен и противоэдс равна нулю. Поэтому при непосредственном подключении двигателя к источнику питания в обмотке якоря будет протекать чрезмерно большой ток, равный $I_{\text{пуск}} = U_{\text{п}}/r_{\text{а}}$, где $U_{\text{п}}$ — напряжение источника питания; $r_{\text{а}}$ — сопротивление обмотки якоря.

Большой пусковой ток является опасным как для самого двигателя, так и для приемника механической энергии (синхронного генератора и асинхронного двигателя). При большом токе нагревается обмотка якоря и возникает интенсивное искрение под щетками, из-за чего коллектор может выйти из строя. Вал двигателя подвергается механическим ударам, так как при большом токе резко увеличивается вращающий момент.

Для ограничения пускового тока в схеме используется пусковой реостат, включаемый последовательно с якорем двигателя

(рис. 12.6). Пусковой реостат представляет собой проволочное сопротивление, рассчитываемое на кратковременный режим работы, и выполнен ступенчатым, что дает возможность изменять ток в якоре двигателя в процессе его пуска (в две ступени $СП_1$ и $СП_2$).

В первый момент при пуске двигателя последовательно с якорем включены обе ступени пускового реостата (контакты реле $У_1$ и $У_3$ разомкнуты). Поэтому через обмотку якоря протекает ток, не превышающий номинального значения. В результате взаимодействия тока в якоре с магнитным полем полюсов, возбуждаемым обмоткой *ШО*, создается пусковой момент на валу двигателя, больший тормозного ($M_{пуск} > M_т$) и трехмашинный агрегат придет во вращение. В силу инерции скорость вращения не может мгновенно изменяться и число оборотов якоря будет постепенно увеличиваться по экспоненциальной зависимости (рис. 12.7).

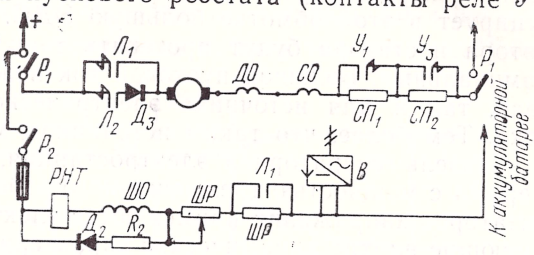


Рис. 12.6. Схема управления ДПТ трехмашинного агрегата

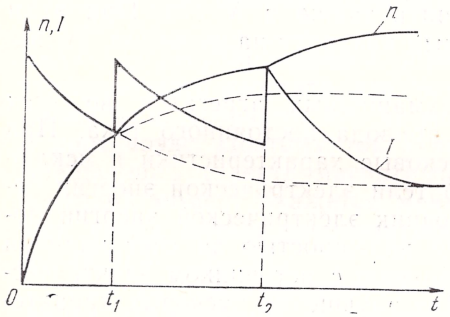


Рис. 12.7. Изменение тока в якоре и скорости вращения якоря при пуске ДПТ

При увеличении скорости вращения якоря увеличивается противоэдс и ток в якоре начнет уменьшаться, что вызывает уменьшение вращающего момента двигателя. Если оставить длительно включенным все сопротивление пускового реостата, то число оборотов и ток в якоре приняли бы установившиеся значения, показанные на графике пунктиром. Однако в рабочем режиме сопротивление пускового реостата должно быть полностью выведено, так как оно рассчитано на кратковременный режим и при длительном прохождении тока окажется выведенным из строя.

В момент времени t_1 одна ступень пускового реостата закорачивается. Уменьшение сопротивления пускового реостата приведет к увеличению пускового тока, а следовательно, вращающего момента. Поэтому скорость вращения вновь увеличивается. С увеличением скорости вращения увеличивается противоэдс, что вызывает уменьшение тока в якоре.

В момент t_2 сопротивление пускового реостата закорачивается полностью, что увеличит ток в якоре и вращающий момент. В результате по окончании переходного процесса скорость вращения двигателя достигнет номинального значения.

Пуск трехмашинных агрегатов принципиально может осуществляться и от привода переменного тока, как было предусмотрено ранее в УГП-ЭМ-24 [28].

При неподвижном роторе асинхронного двигателя вращающееся магнитное поле пересекает его обмотку с большой скоростью, равной скорости вращения магнитного поля в пространстве, и индуцирует в этой обмотке большую ЭДС. Поэтому по обмоткам ротора и статора будут протекать токи в несколько раз больше номинальных. Большой пусковой ток нежелателен как для двигателя, так и для источника электрической энергии переменного тока. Тем более, что таким источником может являться собственная дизель-генераторная электростанция, мощность которой соизмерима с мощностью трехмашинного агрегата, а в качестве стабилизаторов напряжения применяются электромагнитные устройства, имеющие плохие динамические характеристики.

Уменьшение пусковых токов в двигателях с короткозамкнутым ротором можно обеспечить за счет понижения напряжения, для чего на время пуска в ход двигатель включается в сеть через понижающий трансформатор или реакторы, в качестве которых в УГП-ЭМ-24 применялись пусковые сопротивления. Недостатком такого способа пуска в ход является резкое уменьшение пускового момента. Для уменьшения пускового тока в N раз необходимо приложенное напряжение уменьшить также в N раз. При этом пусковой момент, пропорциональный квадрату напряжения, уменьшится в N^2 раз.

В настоящее время пуск трехмашинных агрегатов во всех УГП осуществляется только от привода постоянного тока. При этом обеспечиваются лучшие пусковые характеристики и исключается влияние на другие потребители электрической энергии переменного тока. Кроме того, источник электрической энергии постоянного тока обладает большей надежностью за счет наличия аккумуляторной батареи, по сравнению с источником электрической энергии переменного тока. Для улучшения пусковых характеристик в двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением последовательно с обмоткой якоря вводится дополнительная обмотка возбуждения СО (см. рис. 12.6).

Так как число оборотов якоря двигателя постоянного тока зависит от напряжения источника питания, сопротивления цепи якоря и магнитного потока (см. § 5.9), то регулирование скорости вращения двигателя может осуществляться изменением любой из этих трех величин.

Скорость вращения регулируется изменением напряжения источника питания, если источником электрической энергии двигателя является какой-либо генератор. При работе двигателя от общего источника питания изменение напряжения недопустимо.

Для регулирования скорости вращения двигателя изменением сопротивления цепи якоря используется регулировочный реостат, включаемый последовательно с якорем. В отличие от пускового

реостата регулировочный реостат должен быть рассчитан на длительное прохождение тока.

Рассмотрим процесс изменения скорости при изменении сопротивления цепи якоря. Пусть двигатель работал с постоянной нагрузкой на валу, так что имело место равновесие электромагнитного и тормозного моментов ($M_ф = M_т$) и двигатель имел постоянную скорость вращения n_{t0}, потребляя из сети ток I_{t0} (рис. 12.8*а*).

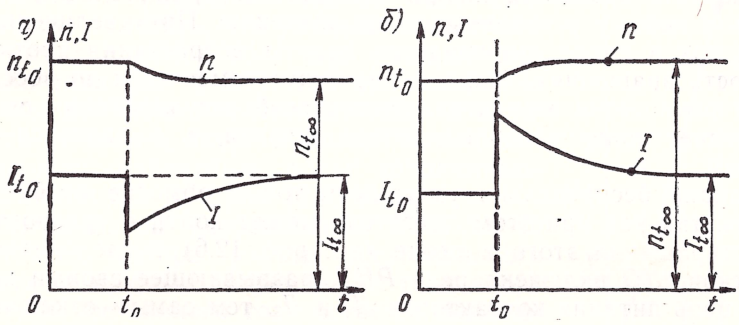


Рис. 12.8. Изменение скорости вращения и тока якоря ДПТ при изменении:
а) сопротивления цепи якоря; *б*) магнитного потока

Если для регулирования в момент t_0 увеличить сопротивление регулировочного реостата, что вызовет увеличение общего сопротивления цепи якоря, то это не может мгновенно изменить скорость и противоэдс. Поэтому ток в якоре уменьшится, т. е. уменьшится вращающий (электромагнитный) момент. Таким образом, вращающий момент окажется меньше тормозного и скорость вращения якоря начнет уменьшаться до нового установившегося значения $n_{t\infty}$.

При уменьшении скорости уменьшается и противоэдс обмотки якоря, что увеличивает как ток в якоре, так и вращающий момент. Скорость, противоэдс и ток в якоре будут изменяться до тех пор, пока не восстановится равновесие моментов. Это произойдет при токе $I_{t\infty}$, равном току до начала процесса регулирования скорости I_{t0}, если тормозной момент остался неизменным, т. е. $I_{t\infty} = I_{t0}$.

Этот способ регулирования позволяет изменять скорость вращения двигателя в широких пределах, но имеет существенный недостаток — неэкономичен. В сопротивлении регулировочного реостата теряется значительная энергия, вследствии чего резко уменьшается КПД установки. Поэтому такой способ регулирования скорости применяется мало.

Скорость вращения якоря двигателя в УГП-ЭМ регулируется изменением магнитного потока, за счет изменения тока в обмотке возбуждения. Для этого в цепь обмотки возбуждения *ШО* вводится регулировочный реостат *ШР* (см. рис. 12.6).

Пусть двигатель длительное время работал на неизменную нагрузку, так что имело место равновесие моментов, двигатель

имел скорость n_{t0} и потреблял ток I_{t0} (см. рис. 12.8*б*). Положим, что для изменения скорости двигателя в момент t_0 уменьшили ток в обмотке возбуждения, т. е. уменьшили магнитный поток. Это уменьшит противоэдс и увеличит ток в якоре. Так как ток в якоре увеличится в значительно большей мере, чем уменьшится магнитный поток, вызывающий изменение тока, то вращающий момент увеличится и станет больше тормозного момента на валу. Поэтому скорость вращения начнет увеличиваться, постепенно приближаясь к новому установившемуся значению. При увеличении скорости ток в якоре уменьшается за счет возрастания противоэдс. Скорость вращения и ток в якоре будут изменяться до восстановления равновесия моментов. Этот способ регулирования скорости не создает дополнительных потерь энергии, т. е. является экономичным.

Однако беспредельно уменьшать ток в обмотке возбуждения нельзя, так как при этом двигатель может пойти в «разнос». Для предотвращения этого в схеме (см. рис. 12.6) последовательно с обмоткой *ШО* включено реле *РНТ*, разрывающее своими контактами цепь питания контакторов $Л_1$ и $Л_2$, тем самым отключая обмотку якоря от источника питания при уменьшении тока возбуждения ниже установленного значения. Для снятия недопустимых перенапряжений при отключении обмотки возбуждения от источника питания параллельно ей включаются диод $Д_2$ и резистор R_2.

Характерно для УГП-ЭМ с трехмашинными агрегатами то, что двигатели постоянного тока работают не при номинальной скорости вращения ($n=1000$ об/мин), а при существенно завышенной ($n=1500$ об/мин), что обеспечивает при двух парах полюсов синхронного генератора частоту тока, равную 50 Гц.

Скорость вращения (при помощи реостата *ШР* в цепи обмотки возбуждения *ШО*) повышается за счет уменьшения магнитного потока полюсов двигателя:

$$n = (U_п - I_a r_a)/CФ,$$

где C — постоянный конструктивный коэффициент; $Ф$ — результирующий магнитный поток в машине.

С уменьшением магнитного потока полюсов рабочая точка, характеризующая магнитное состояние машины, перемещается с колена магнитной характеристики (рис. 12.9) на линейный участок. Поэтому магнитный поток полюсов оказывается прямо пропорциональным току возбуждения. Кроме того, увеличение магнитного потока под одним краем полюса за счет реакции якоря (см. § 5.4) будет равно уменьшению магнитного потока под другим краем полюса (рис. 12.9), так что результирующий магнитный поток остается неизменным при изменении нагрузки и прямо пропорциональным току возбуждения. Следовательно, при неизменном сопротивлении регулировочного реостата *ШР* в цепи возбуждения, в случае подключения обмотки якоря и обмотки возбуждения к одному источнику питания, скорость вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением остается практи-

чески неизменной при изменении напряжения источника питания, так как $U_п \gg I_a r_a$. Изменение же скорости вращения за счет изменения падения напряжения в обмотке якоря $I_a r_a$ не превышает 1—1,5%, до тех пор, пока результирующее магнитное поле в машине остается пропорциональным току возбуждения. Следовательно, в этом случае отпадает необходимость в дополнительных устройствах для стабилизации частоты тока синхронного генератора при работе трехмашинного агрегата от привода постоянного тока. Следует также отметить, что уменьшение магнитного потока полюсов облегчает условия коммутации тока (см. § 5.5), так как магнитное поле под щетками меняется линейно в зависимости от тока в якоре и может быть скомпенсировано магнитным полем дополнительных полюсов ДО (см. рис. 12.6) полностью.

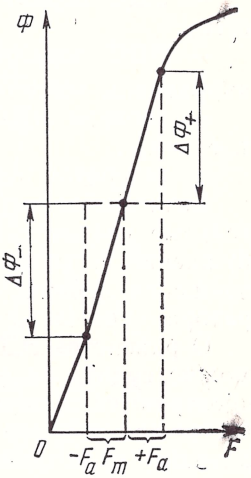


Рис. 12.9. Магнитная характеристика ДПТ

Отличительной особенностью УГП-ЭМ-50 является то, что при работе трехмашинного агрегата от привода переменного тока якорь двигателя постоянного тока остается подключенным к источнику питания через вентиль $Д_5$ и контакты контактора $Л_2$. Поэтому при прекращении подачи напряжения сети переменного тока и выключении маломощного выпрямителя $В$ нагрузка без перерыва (не считая времени включения контактора $Л_1$) подключается к *ДПТ*, что улучшает переходные характеристики трехмашинного агрегата. В других УГП-ЭМ с трехмашинными агрегатами для этого применяют тиристоры, шунтирующие главные контакты контактора $Л_1$ на время его срабатывания.

Еще одной особенностью УГП-ЭМ-50 является то, что резервный агрегат используется для заряда *АБ*. Для этого при работе резервного трехмашинного агрегата от привода переменного тока вентиль $Д_3$ шунтируется главными контактами контактора $Л_1$. Величина тока заряда *АБ* регулируется при помощи маломощного выпрямителя *В*. Использование резервного агрегата для заряда *АБ* позволяется исключить из УГП дорогостоящие мощные выпрямители.

Характерным для всех УГП-ЭМ с трехмашинными агрегатами является то, что мощность трехфазных асинхронных двигателей берется на 25—30% большей, чем расчетная величина. Это обеспечивает большую стабильность частоты тока синхронного генератора при изменении напряжения внешней сети.

Для повышения стабильности частоты переменного тока на шинах синхронного генератора при аварийном переходе с привода переменного на привод постоянного тока в схеме рис. 12.6 предусмотрено форсирование возбуждения за счет введения сопротивления *ШР* в цепь возбуждения до момента срабатывания контактора $Л_1$.

В УГП-ЭМ с трехмашинными агрегатами предусматривается возможность перехода с внешней сети на резервный агрегат вручную без перерыва в питании аппаратуры. Для этого синхронный генератор резервного агрегата сначала должен быть включен на параллельную работу с внешней сетью. При включении синхронного генератора на параллельную работу необходимо, чтобы:

— ЭДС подключаемого генератора была равна напряжению сети;

— ЭДС подключаемого генератора и напряжение сети были направлены встречно, т. е. $\dot{E}_г = -\dot{U}_с$;

— частоты ЭДС генератора и напряжения сети были равны, т. е. $f_г = f_с$;

— генератор и сеть имели одинаковые чередования фаз.

Если любое из этих условий не выполнено, возникают значительные уравнительные токи, что неприемлемо. Изменяя ток возбуждения, устанавливают ЭДС генератора, а изменяя скорость вращения первичного двигателя, приводящего во вращение генератора, — ее частоту.

О равенстве ЭДС подключаемого генератора напряжению сети можно судить по показанию вольтметров. Остальные три условия проверяются специальными устройствами — синхроноскопами. В качестве простейшего синхроноскопа могут служить три лампы накаливания, включаемые на «гашение» (рис. 12.10*а*) или на «вращение света» (рис. 12.10*б*). В первом случае каждая из ламп присоединяется к двум зажимам одного ножа рубильника, во втором — две лампы подключаются к различным ножам рубильника.

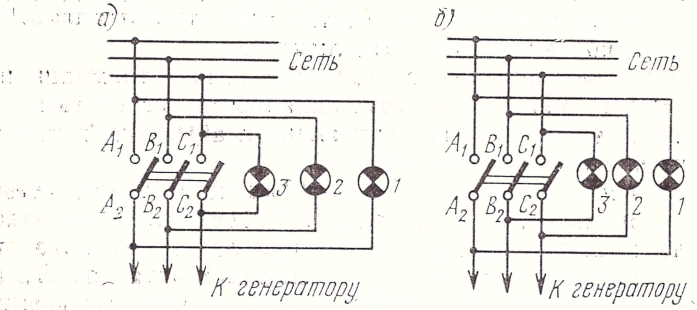


Рис. 12.10. Простейший синхроноскоп — три лампы накаливания, включаемые на:
а) «гашение»; *б*) «вращение света»

Положим, что чередование фаз сети и подключаемого генератора одинаково. Установить равенство частот до включения генератора на параллельную работу с сетью практически невозможно, так как любой первичный двигатель не может длительно иметь строго постоянную скорость вращения (имеется в виду, что первичный двигатель не синхронный).

Поэтому на векторной диаграмме (рис. 12.11*а*) векторы фазных напряжений сети A_1, B_1, C_1 и ЭДС генератора A_2, B_2, C_2 будут вращаться с различными угловыми скоростями.

Следовательно, звезда фазных ЭДС генератора вращается относительно звезды фазных напряжений сети с угловой скоростью, равной разности угловых скоростей.

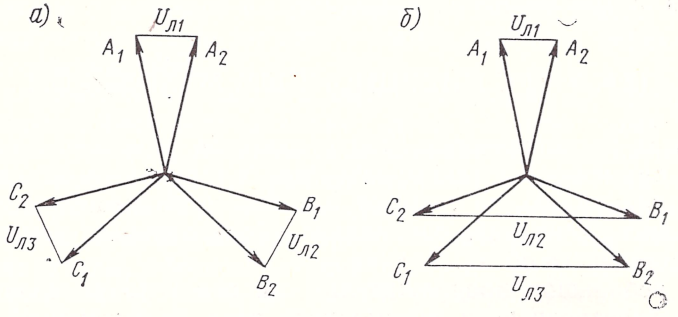


Рис. 12.11. Векторная диаграмма при включении ламп на: *а*) «гашение»; *б*) «вращение света»

При включении ламп на «гашение» каждая из них в любой момент находится под одинаковым напряжением, так что все три лампы всегда либо горят одинаково ярко, либо одновременно гаснут, так как за счет неравенства частот напряжение, приложенное к лампе, непрерывно меняется. Включать генератор следует в момент, когда все лампы погаснут.

При включении ламп на «вращение света» напряжения на них не равны между собой (рис. 12.11*б*) и лампы горят неодинаково ярко в любой момент времени. При этой схеме лампы поочередно гаснут и загораются вновь. Они располагаются по вершинам равностороннего треугольника и при их поочередном загорании создается впечатление «вращения света». В зависимости от направления вращения света можно судить об увеличении или уменьшении числа оборотов первичного двигателя. Включать генератор надо в момент, когда лампа *1* погаснет, а лампы *2* и *3* горят одинаково ярко. Так как лампы не светятся уже при 30% номинального напряжения, для более точного определения момента включения параллельно одной из них (первой, т. е. включенной при любой схеме между одноименными зажимами) присоединяется вольтметр.

При неправильном чередовании фаз возникает обратный эффект. Если лампы включены на «гашение», то в этом случае появится «вращение света», если же лампы включены на «вращение света», то они будут одновременно гаснуть и загораться. При этом включать генератор на параллельную работу недопустимо и необходимо изменить чередование его фаз.

Правильность чередования фаз проверяется один раз при монтаже электропитающей установки. В дальнейшем чередование фаз остается неизменным, так что о выполнении условий включения на параллельную работу можно судить по показанию одного вольтметра. Генератор включают на параллельную работу с сетью при нулевом показании вольтметра, подключаемого к средним фазам генератора и сети. Затем сеть отключается и нагрузка питается от трехмашинного агрегата.

12.6. УГП С ИНЕРЦИОННЫМ МАХОВИКОМ

Во всех рассмотренных УГП в качестве резервного источника энергии применяются аккумуляторные батареи. Они обладают высокой надежностью, но требуют для своего размещения достаточно больших площадей, специально оборудованных помещений и соответствующего обслуживания.

При небольшой продолжительности перехода с основного источника электроэнергии переменного тока на резервный (в пределах одной минуты) применяются УГП с инерционными маховиками.

Структурная схема УГП с инерционным маховиком показана на рис. 12.12. Электромашинный преобразователь состоит из трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором *АД*, трехфазного синхронного генератора *СГ* и инерционного маховика *М*, смонтированных на общей раме.

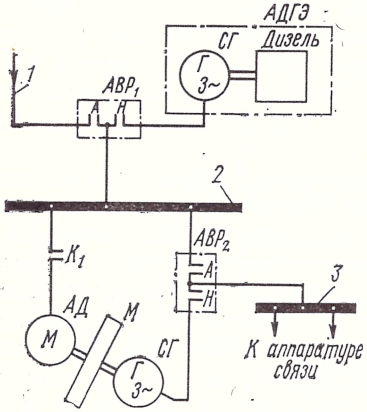


Рис. 12.12. Структурная схема УГП-ЭМ с инерционным маховиком:

1 — внешнее электроснабжение; 2 — шины негарантированного переменного тока 400/230 В; 3 — шины гарантированного переменного тока 380/220 В

В нормальных условиях электроснабжения асинхронный двигатель подключен через контактор K_1 и контактор A устройства $АВР_1$ к источнику внешнего электроснабжения и вращает синхронный генератор и инерционный маховик. Аппаратура питается от *СГ*.

С момента прекращения подачи электроэнергии от источника внешнего электроснабжения до подключения асинхронного двигателя к автоматизированному дизель-генератору электропитание аппаратуры осуществляется от *СГ* за счет энергии, запасенной вращающимся маховиком. Продолжительность работы преобразователя за счет энергии, запасенной маховиком, определяется моментом инерции маховика, минимально допустимой частотой тока *СГ* и мощностью нагрузки. Маховик рассчитывается так, чтобы за 30 с частота тока синхронного генератора не уменьшалась более чем на 20%.

После устойчивого установления внешнего электроснабжения питание преобразователя переводится на внешнее электроснабжение, а дизель-генератор автоматически останавливается.

При повреждении рабочего преобразователя автоматически запускается резервный, время раскручивания которого составляет около пяти минут при мощности в 20 кВт.

Для уменьшения перерыва в питание аппаратуры при аварийном переходе с рабочего на резервный преобразователь нагрузка может получать питание от сети переменного тока через контактор *А* устройства $АВР_2$.

Для повышения надежности электроустановки на станциях радиорелейных линий устанавливают два, а в некоторых случаях и три дизель-генератора. Запускаются сразу все автоматизированные дизель-генераторы. В работе остается тот из них, который запустится раньше. На крупных станциях могут устанавливаться не два, а большее количество преобразователей. При этом половина аппаратуры, обеспечивающей действие 50% каналов связи, обычно получает питание от одного преобразователя, а вторая половина — от другого.

Подробное описание работы УГП-ЭМ с агрегатом АГМ-7,5, а также с агрегатом АГМ-20 приведено в [21].

Существенно лучшими характеристиками обладают *УГП* с агрегатами типа АГПМ. Агрегат АГПМ-7,5 состоит из двух электрических машин: трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и трехфазного «когтеобразного» *СГ*, смонтированных в одном корпусе. Роторы двигателя и генератора располагаются на общем валу, который вращается на двух шариковых подшипниках. На концах вала с двух сторон устанавливаются маховики (диаметром 655 мм при толщине 100 мм). Маховики закрыты литыми силуминовыми кожухами. Торцевые и боковые зазоры между кожухами составляют 5—8 мм. Агрегат устанавливается без фундамента на амортизаторах.

Ниже приведены основные характеристики агрегата АГПМ-7,5:

Мощность	7,5 кВт
Напряжение	380/220 В
Частота	42,5—50 Гц
Скорость вращения	2900 об/мин
КПД преобразователя	0,62
Коэффициент мощности	0,85
Габариты	1200×700×740 мм
Время работы за счет энергии маховиков при номинальной нагрузке	30 с

Статор асинхронного двигателя запрессован в корпус станины. Пакет статора собран из листов электротехнической стали марки Э11, толщиной 0,5 мм. Обмотка статора — двухслойная. Каждая фаза обмотки статора состоит из двух независимых катушек, которые могут соединяться между собой как последовательно, так и параллельно.

Ротор асинхронного двигателя имеет двойную короткозамкнутую обмотку. Наружная обмотка выполнена из латунных стержней, а внутренняя — из медных, благодаря чему активное сопротивление наружной обмотки значительно больше, по сравнению с внутренней ($r_н \gg r_{вн}$).

Применение двойной короткозамкнутой обмотки позволяет существенно улучшить пусковые характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Принцип действия такого двигателя состоит в следующем. В момент включения двигателя в сеть ротор неподвижен и частота тока в роторе равна частоте тока сети $f_2 = f_1$. Ток в наружной и внутренней обмотках будет распределяться обратно пропорционально их полным сопротивлениям. Благодаря тому, что стержни внутренней обмотки глубоко погружены в тело ротора и окружены сталью, индуктивное сопротивление внутренней обмотки значительно больше, чем наружной обмотки ($x_{вн} \gg x_н$).

Так как в момент пуска индуктивные сопротивления обмоток асинхронного двигателя значительно больше их активных сопротивлений, то распределение тока между обмотками будет примерно обратно пропорциональным их индуктивным сопротивлениям. Поэтому при пуске в ход ток в основном будет протекать по проводникам наружной обмотки, имеющей меньшее индуктивное и большее активное сопротивления.

В рабочем режиме скольжение мало и, следовательно, частота тока в роторе также мала ($f_2 \approx 0$). Поэтому влияние индуктивных сопротивлений обмоток незначительно и распределение токов в обмотках будет обратно пропорциональным активным сопротивлениям этих обмоток. Таким образом, в рабочем режиме ток в основном протекает по проводникам внутренней обмотки, имеющей меньшее активное сопротивление.

Такая конструкция ротора обеспечивает увеличение активного сопротивления его обмотки в момент пуска в ход двигателя, что уменьшает пусковой ток и увеличивает вращающий момент так же, как включение пускового реостата в цепь фазного ротора. Кроме того, для уменьшения пусковых токов в агрегатах АГПМ-7,5 в момент пуска катушки каждой фазы обмотки статора соединяются между собой последовательно, что приводит к уменьшению магнитного потока, а следовательно, и тока в два раза по сравнению с параллельным соединением катушек, являющимся нормальным (рабочим).

Трехфазный «когтеобразный» *СГ* представляет собой бесконтактную электрическую машину с самовозбуждением.

Статор генератора запрессован в корпус станины. Пакет статора собран из листов электротехнической стали марки Э11 толщиной 0,5 мм. Станина агрегата изготовлена из стальной трубы и служит магнитопроводом генератора. На статоре расположена рабочая обмотка (двухслойная), начала и концы каждой фазы которой выведены на панель, где при помощи перемычки можно

соединять обмотку по схеме «звезда» или «треугольник» и дополнительная обмотка (двухслойная), соединенная по схеме «треугольник». Обмотка возбуждения подключается к дополнительной обмотке через выпрямительный мост, собранный по схеме Ларионова.

Обмотка возбуждения состоит из двух цилиндрических неподвижных катушек, расположенных по обе стороны от статора генератора. Катушки намотаны на предварительно изолированные дюралюминиевые каркасы, которые укрепляются на дисках. Диски закреплены в станине агрегата болтами и являются магнитопроводом.

Полюсами разноименной полярности в генераторе служат два специальных стальных «когтя», насаженных на вал агрегата.

Описанная конструкция агрегата имеет почти в два раза меньшие габариты по сравнению с агрегатом АГМ-7,5 и обладает большей эксплуатационной надежностью за счет устранения щеточных контактов, уменьшения числа подшипников, а также применения двух инерционных маховиков вместо одного.

Электроустановки предприятий проводной связи

13.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМ

Под электроустановкой подразумевается весь комплекс энергосооружений, обеспечивающий электроснабжение, электропитание аппаратуры связи, освещение, а также различных установок (вентиляционных, отопительных и др.), от которых зависит нормальная работа предприятия связи как в нормальных условиях внешнего электроснабжения, так и в аварийных.

Электроустановка является одной из наиболее важных частей всего комплекса сооружений связи, так как от нее зависит работа всего предприятия связи в целом.

Для обеспечения нормального технологического процесса на предприятии связи электроустановка должна обеспечивать надежное и бесперебойное электропитание аппаратуры связи, а также тех потребителей, от которых зависит нормальная работа предприятия связи.

Кроме того, электроустановки должны удовлетворять следующим основным требованиям:

— быть экономичными в строительстве и эксплуатации;

— иметь достаточно высокие энергетические показатели (КПД и коэффициент мощности);

— строиться на базе максимального использования типового промышленного оборудования и приборов;

— быть максимально автоматизированными — необслуживаемыми или требовать минимального ухода;

— допускать возможность модернизации в течение 5—10 лет без замены основного силового оборудования.

Состав основного и резервного оборудования электроустановки зависит как от наличия и условий внешнего электроснабжения предприятия связи, так и от принятой системы вторичного электропитания аппаратуры связи.

Чем лучше условия электроснабжения, тем меньше количество и мощность резервного оборудования, а следовательно, меньше капитальные затраты и эксплуатационные расходы на электро-

установку. Поэтому предприятия проводной связи, как правило, располагаются в местах, где они могут быть обеспечены надежным внешним электроснабжением. При отсутствии внешнего электроснабжения на предприятии связи оборудуется собственная электростанция.

13.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПРЕДПРИЯТИЙ СВЯЗИ

Все электроустановки предприятий проводной связи согласно нормам технологического проектирования на них (НТП 45.326—71), в зависимости от условий внешнего электроснабжения, разделяются на группы: IА, IБ, IIА, IIБ и III, определение которых дано в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Обозначение групп	Характеристика электроснабжения отдельных групп электроустановок
IА	Полностью обеспеченное круглосуточное и устойчивое электроснабжение от энергосистем или электростанций мощностью не менее 1000 кВА. Величина изменения напряжения на шинах на предприятиях связи, в нормальных эксплуатационных условиях, не выходит за пределы —10%÷+5% от номинального значения. Электроэнергия подается одновременно от двух независимых источников по двум отдельным кабельным или воздушным линиям с применением АВР
IБ	То же, что и для группы IА, но электроэнергия подается от одного источника по одной линии
IIА	Не полностью обеспеченное электроснабжение. Электроустановка получает электроэнергию круглосуточно от одного источника мощностью менее 1000 кВА или от более мощного источника, но с заведомо частыми перебоями аварийного характера, либо от источника, имеющего колебания напряжения более чем —15%÷÷+5%
IIБ	То же, что для групп IБ или IIА, но электроэнергия подается не круглосуточно (не менее 16 ч в сутки без перерыва)
III	Необеспеченное электроснабжение. Электроустановки либо совершенно лишены возможности получать электроэнергию от внешних источников, либо могут получать ее при колебаниях напряжения свыше —15%÷+5% или с сезонными перерывами Основным источником электроэнергии является собственная электростанция

Если условия электроснабжения, определяющие принадлежность электроустановки к соответствующей группе, не выполняются только в части пределов колебания напряжения, то электро-

установка может быть отнесена к этой группе при применении дополнительных мер по стабилизации напряжения.

Во всех группах электроснабжения колебания частоты тока источников электроэнергии не выходят за пределы 48—52 Гц.

Внешние источники электроустановок предприятий дальней и городской связи, относящихся к группе IIБ, используются лишь как дополнительные. Основным источником электроэнергии, в этом случае, является собственная электростанция.

Эта группа (IIБ) введена в классификацию для использования в электроустановках сельской связи.

13.3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИХ УСТАНОВОК

Электропитание предприятий связи от внешних источников электроэнергии или от собственных электростанций осуществляется, как правило, трехфазным переменным током напряжения 380/220 В. Трехфазный ток напряжения 220/127 В применяется только в отдельных, специально оговоренных случаях.

Аппаратура проводной связи потребляет электрическую энергию в основном в виде постоянного тока различных напряжений. Номинальные значения и нормы допустимых отклонений, а также пульсации напряжений для различных видов аппаратуры проводной связи и отдельных ее цепей должны соответствовать ГОСТ 5237—69 «Установки электропитания аппаратуры связи. Напряжения».

Для преобразования электрической энергии, регулирования, а также распределения и резервирования различных напряжений постоянного и переменного токов, необходимых для нормальной работы аппаратуры, на предприятиях связи оборудуются электропитающие установки (ЭПУ), являющиеся частью электроустановок.

В зависимости от условий электроснабжения предприятия связи, мощности, потребляемой аппаратурой, а также от степени рассредоточения нагрузок по каждому из номиналов напряжений могут применяться различные принципы построения ЭПУ.

Наиболее широко на предприятиях проводной связи применяются следующие принципы построения ЭПУ: многобатарейный, однобатарейный, безбатарейный.

При многобатарейном принципе построения ЭПУ для каждого из напряжений постоянного тока выделяется отдельная выпрямительно-аккумуляторная установка (за исключением линейных телеграфных цепей), т. е. в этом случае применяется централизованная система электропитания аппаратуры. В отличие от индивидуальной системы, которая предполагает наличие отдельных источников для каждого узла, блока, стойки и т. д., при централизованной системе все потребители каждого

из напряжений постоянного тока получают питание от одной выпрямительно-аккумуляторной установки.

Только в том случае, когда нагрузка по отдельным напряжениям не может быть обеспечена выпускаемыми выпрямительными устройствами и аккумуляторами, допускается применение двух или большего числа выпрямительно-аккумуляторных установок этого напряжения. Централизованная система более экономична, чем индивидуальная как по стоимости, так по энергетическим и габаритным показателям, однако она требует прокладки распределительных сетей постоянного тока с малыми потерями напряжения и поэтому невыгодна при большой степени рассредоточения нагрузок по зданию, особенно при низких напряжениях. Еще одним недостатком централизованной системы является также наличие непосредственной электрической связи между блоками аппаратуры по цепям питания, что в ряде случаев нежелательно [5].

Аккумуляторные батареи в ЭПУ предприятий проводной связи работают, как правило, в режиме непрерывного подзаряда, т. е. при наличии сети переменного тока аппаратура питается и аккумуляторные батареи подзаряжаются от выпрямительных устройств.

В качестве преобразователей переменного тока в постоянный при многобатарейном принципе построения ЭПУ и буферном режиме работы аккумуляторных батарей применяются автоматизированные выпрямительные устройства типов ВУ и ВУК, а для питания сельских АТС емкостью до 500 номеров — типа ВБ-60.

Для умощнения выпрямительно-аккумуляторных установок применяется параллельное соединение выпрямительных устройств типов ВУ и ВУК в количестве не более трех.

Все рабочие выпрямительные устройства резервируются (одно резервное выпрямительное устройство на выпрямительно-аккумуляторную установку данного напряжения).

Многобатарейный принцип построения ЭПУ при эксплуатации АБ в режиме непрерывного подзаряда обеспечивает высокую надежность и бесперебойность питания аппаратуры, сравнительно простую автоматизацию и дальнейшее расширение за счет параллельного включения выпрямительных устройств.

Данный принцип построения ЭПУ очень широко применяется на предприятиях проводной связи.

В настоящее время на крупных предприятиях связи в условиях разбросанности потребителей, например в ЭПУ сетевых узлов междугородной связи и обслуживаемых усилительных пунктов ОУП магистрали коаксиального кабеля, уплотняемого системой К-1920 (К-1920У) или наоборот на малых станциях (при мощности потребляемой аппаратурой по всем напряжениям менее 7,0 кВт), все чаще применяется однобатарейный принцип построения ЭПУ.

При однобатарейном принципе построения ЭПУ на предприятии связи оборудуется аккумуляторная установка (опорная) только на одно напряжение.

На крупных предприятиях связи потребители каждого из напряжений постоянного тока разбиваются на отдельные группы, питание которых осуществляется от индивидуальных выпрямительных установок, т. е. реализуется индивидуальная система вторичного электропитания. В этом случае энергия между отдельными группами потребителей распределяется по переменному току.

Для резервирования питания аппаратуры выпрямительные установки отдельных групп потребителей включаются по двухлучевой схеме. Подобная схема создается так, что выпрямительные установки состоят из двух или другого четного числа выпрямительных устройств, половина которых подключается к одному, а вторая половина к другому, независимому от первого, источнику энергии переменного тока. Одним источником энергии переменного тока может являться постоянно действующая УГП, резервируемая аккумуляторной батареей напряжением 220 В, а вторым либо непосредственно сеть переменного тока, либо вторая УГП. В нормальном режиме выпрямительные устройства загружены не более чем на 50% их мощности. При отключении одного из источников энергии переменного тока и соответствующей половины выпрямительных устройств вся нагрузка без перерыва питается от выпрямительных устройств, подключенных к действующему источнику энергии.

В качестве выпрямительных установок применяются автоматизированные установки типа ВУЛС, состоящие из двух выпрямительных устройств типа ВУЛ и общего шкафа фильтров.

Потребители постоянного тока напряжением 220 В могут получать питание непосредственно от опорной выпрямительно-аккумуляторной установки.

При однобатарейном принципе построение ЭПУ на станциях малой мощности аппаратура получает питание от опорной выпрямительно-аккумуляторной установки через полупроводниковые преобразователи напряжения, т. е. для этого случая характерно двойное преобразование энергии. Однако по экономическим соображениям применение многобатарейного принципа построения при малой мощности не целесообразно, ввиду сравнительно высокой стоимости автоматического оборудования выпрямительно-аккумуляторных установок.

Рассмотренные принципы построения ЭПУ могут применяться совместно. Так, при многобатарейном принципе построения часть потребителей напряжения постоянного тока может получать питание от одной из выпрямительно-аккумуляторных установок через полупроводниковые преобразователи.

Современные крупные предприятия проводной связи характеризуются большим потреблением электрической энергии для питания аппаратуры (АМТС, АТС, телеграф). Так, на крупных городских телефонных станциях расход тока напряжением —60 В в час наибольшей нагрузки колеблется от 3 до 12 кА. Поэтому для применения рассмотренных принципов построения ЭПУ необходимы аккумуляторные батареи очень большой емкости.

В настоящее время промышленностью выпускаются стационарные кислотные аккумуляторы емкостью не более 5328 А·ч при десятичасовом разряде, что соответствует максимальному разрядному току 1,2 кА для трехчасового разряда и 2,65 кА в одночасовом режиме при нормальной температуре в аккумуляторном помещении. Даже в получасовом режиме разряда эти аккумуляторы (СК-148) не могут обеспечить ток более 3,3 кА. Поэтому для реализации многобатарейного принципа построения и эксплуатации аккумуляторных батарей в режиме непрерывного подзаряда необходимо большое их число. Кроме того, аккумуляторные батареи должны размещаться в подвальных помещениях (ввиду их большой массы), поэтому магистральные и распределительные сети получаются очень дорогими и громоздкими.

В связи с этим на крупных городских и междугородных предприятиях связи в некоторых случаях применяется безбатарейный принцип построения ЭПУ, с резервированием питания аппаратуры за счет применения двухлучевой схемы включения выпрямительных установок.

Безбатарейный принцип построения ЭПУ может применяться только при условии очень надежного и качественного внешнего электроснабжения предприятия связи от двух независимых источников электроэнергии по двум линиям (группа электроснабжения IA) и наличия собственных резервных автоматизированных дизель-генераторных электростанций, а также устройств АВР.

Аппаратура питается от выпрямительных установок, состоящих из четного количества выпрямительных устройств. Выпрямительные устройства подключаются к двум независимым внешним источникам электроснабжения по двухлучевой схеме. Одновременное отключение внешних источников электроснабжения не допускается как в нормальных, так и в аварийных условиях. Внешние источники электроснабжения резервируют друг друга за счет применения перекрестной схемы включения устройств АВР. Кроме того, внешние источники резервируются собственными электростанциями через устройства АВР (см. гл. 11).

При этом принципе построения ЭПУ может применяться как централизованная система электропитания, так и индивидуальная. Выбор системы электропитания зависит от степени рассредоточения потребителей данного напряжения и требований, предъявляемых аппаратурой. Данный принцип построения ЭПУ может применяться на предприятиях связи, оборудованных постоянно действующими УГП с инерционными маховиками.

13.4. СТАБИЛИЗАЦИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭПУ

Современная аппаратура проводной связи предъявляет достаточно жесткие требования к стабильности питающих напряжений. Поэтому ЭПУ должны содержать устройства для регулирования

и стабилизации напряжения. Эти операции можно осуществлять как в цепях переменного тока, так и постоянного.

Выбор способа и устройств стабилизации и регулирования напряжения зависит от требований, предъявляемых аппаратурой к стабильности питающих напряжений; от принципов построения ЭПУ и режимов ее работы; от мощности, потребляемой аппаратурой; от выбранной системы электропитания и т. д.

Основным режимом работы ЭПУ предприятий проводной связи является питание аппаратуры от внешних источников электроэнергии с резервированием от собственных или передвижных электростанций (группы электроснабжения IA, IБ и IIA) или от собственных постоянно действующих электростанций (группы электроснабжения IIБ и III) через выпрямительные устройства. Аккумуляторные батареи служат лишь для резервирования питания аппаратуры при перебоях в подаче переменного тока и эксплуатируются, как правило, в режиме непрерывного подзаряда с параллельным подключением их к шинам нагрузки. Поэтому экономически целесообразно при централизованной системе электропитания стабилизировать выходное напряжение выпрямительных устройств на уровне номинальных (или близких к номинальным) значений за счет введения специальных устройств в цепь переменного тока. Выходное напряжение выпрямительных устройств, применяемых на предприятиях проводной связи, стабилизируется с точностью $\pm 2\%$ при помощи дроссельных магнитных усилителей (выпрямительные устройства типа ВУ и ВУЛ), магнитных усилителей с внутренней обратной связью (выпрямительные устройства типа ВУК), а также при помощи феррорезонансных стабилизаторов с точностью $\pm 3\%$ в выпрямительных устройствах сравнительно небольшой мощности (типов ВБ-60 и ПЗВ-75). Потребители, предъявляющие более жесткие требования к стабильности питающих напряжений, подключаются к распределительным шинам через индивидуальные полупроводниковые стабилизаторы напряжения постоянного тока.

Для повышения энергетических и экономических показателей и при индивидуальной системе электропитания ЭПУ оборудуются общестанционными стабилизаторами напряжения переменного тока. Для этого же стабилизируется выходное напряжение переменного тока УГП и собственных дизель-генераторных электростанций.

Напряжение в цепях постоянного тока при аварийных режимах работы ЭПУ (отключение сети переменного тока) может регулироваться за счет подключения к основной АБ, по мере ее разряда, дополнительных групп аккумуляторов.

В этом случае аккумуляторная батарея выполняется секционированной, т. е. имеет один или несколько промежуточных отводов (отпаек) от последовательно соединенных аккумуляторов. С помощью этих отводов аккумуляторная батарея разбивается на основную и дополнительные группы.

В нормальном режиме работы ЭПУ параллельно нагрузке и выходу выпрямительных устройств подключена только основная группа, получающая непрерывный подзаряд от этих выпрямительных устройств (рис. 13.1). Буферные выпрямительные (*БВ*) устройства стабилизируют напряжения на уровне номинальных значений. Дополнительные группы подзаряжаются от маломощных выпрямителей содержания *ВС*.

В аварийном режиме работы ЭПУ при помощи контактора K_1 последовательно с основной группой аккумуляторов подключается дополнительная. Число дополнительных групп зависит от числа аккумуляторов основной группы [2], допустимых пределов изменения напряжения на нагрузке, напряжения содержания и конечного напряжения разряда аккумулятора.

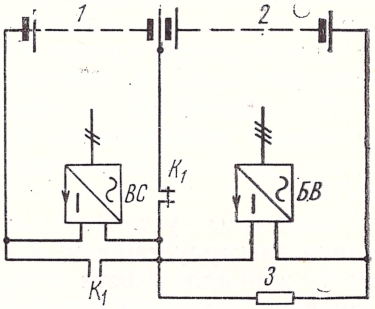


Рис. 13.1. Регулирование напряжения при помощи дополнительных элементов:

1 — дополнительная группа; *2* — основная группа; *3* — нагрузка

Недостаток рассмотренного способа регулирования в том, что он позволяет регулировать напряжение только ступенями. Поэтому он не может применяться непосредственно, если потребители предъявляют жесткие требования к стабильности питающих напряжений (например, при коммутации дополнительной группы из одного аккумулятора колебания напряжения превышает ±8% от номинального значения 24 В).

В настоящее время в ЭПУ предприятий проводной связи для питания аппаратуры, предъявляющей жесткие требования к стабильности напряжений, широко применяются угольные регуляторы напряжения РУН [2, 19]. Однако ввиду большой инерционности они могут применяться только в цепях с постоянной нагрузкой.

При небольшой мощности ЭПУ допускается применение регулирования напряжения в цепи постоянного тока при помощи нелинейных элементов (вентилей или противоэлементов). При этом способе параллельно буферным выпрямителям подключается аккумуляторная батарея (несекционированная), число элементов которой определяется из условия обеспечения минимально допустимого напряжения на нагрузке в конце разряда этой батареи. Поэтому в нормальном режиме работы ЭПУ напряжение на выходе буферных выпрямителей существенно превышает максимально допустимое напряжение питания аппаратуры. Для того чтобы погасить избыток напряжения, последовательно с нагрузкой включаются нелинейные элементы, которые затем в процессе разряда батареи закорачиваются в один или два приема.

Данный способ неэкономичен и позволяет регулировать напряжение только ступенями. В качестве нелинейных элементов следует применять кремниевые или селеновые вентили. Если применяются щелочные противоэлементы, их необходимо размещать в

отдельных помещениях или специальных шкафах, оборудованных усиленной вытяжной вентиляцией, так как работающий противоэлемент непрерывно «кипит» и выделяет гремучий газ [2, 19].

13.5. ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

Электроустановки предприятий проводной связи должны проектироваться и сооружаться в соответствии с нормами технологического проектирования НТП 45.326—71, общими «Правилами устройства электроустановок» [29], требованиями ГОСТа 5237—69, а также с учетом правил технической эксплуатации и техники безопасности при эксплуатации электроустановок [30].

Устройство, состав оборудования и режимы работы электроустановок определяются группой электроснабжения предприятий связи, требованиями аппаратуры связи и принципом построения ЭПУ.

Отдельные устройства и аппараты применяются при оборудовании электроустановок предприятий проводной связи независимо от их принадлежности к той или иной отрасли связи, а также от группы электроснабжения. К таким устройствам относятся трансформаторные подстанции, собственные электростанции, коммутационное и распределительное оборудование в цепях постоянного и переменного токов, различного рода преобразователи электрической энергии, аккумуляторные батареи, устройства заземления и т. д.

Любое предприятие проводной связи, как правило, оборудуется собственной трансформаторной подстанцией с одним или двумя высоковольтными вводами. При наличии двух высоковольтных вводов на стороне низкого напряжения (на трансформаторной подстанции) оборудуется централизованное автоматическое включение резерва (АВР). Применение низковольтного ввода от посторонней трансформаторной подстанции допускается только на предприятиях связи, потребляющих мощность до 50 кВА.

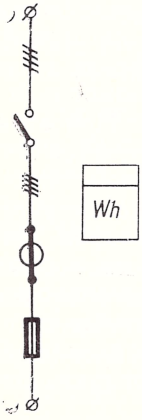


Рис. 13.2. Схема вводного щита типа ВЩ-2

Подключение низковольтных вводов, их защита, а также учет электроэнергии, потребляемой от источников внешнего электроснабжения, осуществляется вводными щитками (рис. 13.2).

Кроме трансформаторной подстанции, любое предприятие проводной связи, за исключением АТС (при группе электроснабжения IA и наличии аккумуляторных батарей), оборудуется собственной резервной или постоянно действующей электростанцией. Число и мощность теплоэлектроагрегатов, в качестве которых применяются дизель-генераторы собственных электростанций, зависят от группы электроснабжения. Для всех предприятий связи, кроме сетевых узлов, при группах электроснабжения IA, IБ и IIA собственная

резервная электростанция оборудуется одной дизель-генераторной установкой. Ее мощность определяется из условия обеспечения электроэнергией аппаратуры связи и устройств дистанционного питания, сети аварийного освещения, электродвигателей системы отопления и вентиляции аккумуляторной, собственных нужд электростанции, а также заряда аккумуляторных батарей. Собственная электростанция сетевых узлов связи оборудуется двумя дизель-генераторными установками независимо от группы электроснабжения. Каждая из дизель-генераторных установок должна обеспечивать электроэнергией также двигатели вентиляции здания, системы водоснабжения и освещения.

Для АТС емкостью до 10 000 номеров на районированных сетях и районных АТС емкостью до 20 000 номеров при группе электроснабжения IA применяется передвижная дизельная электростанция из расчета 2—3 дизельных электростанций на ГТС или на один телефонный узел в районированных сетях.

Электроустановки группы электроснабжения III, а также приравниваемые к ним электроустановки группы IIБ оборудуются собственными постоянно действующими электростанциями с тремя дизель-генераторными установками. Мощность каждой определяется из условия обеспечения электроэнергией аппаратуры связи и устройств дистанционного питания, электродвигателей системы отопления и вентиляции, нормального освещения технических зданий, жилых домов и территории предприятия самой электростанции, а также для заряда аккумуляторных батарей.

Для ввода питающих фидеров от внешних источников электроснабжения и дизельных электростанций и их защиты, а также для распределения электрической энергии по фидерам потребителей и защиты фидеров от перегрузок и коротких замыканий на ЭПУ предприятий проводной связи применяются щиты переменного тока ЩПТ, силовые щиты СЩ и силовые распределительные пункты ПР.

Щит (рис. 13.3) рассчитан на подключение выпрямительных устройств и четырех дополнительных потребителей, два из которых негарантированные потребители и автоматически отключаются контактором $K_т$ при питании от дизельной электростанции. Селективное отключение фидеров потребителей от ЩПТА-380/600 при перегрузках и коротких замыканиях осуществляется автоматическими выключателями, имеющими тепловую и токовую защиту. Максимальный ток каждого питающего фидера составляет 600 А.

В качестве преобразовательных устройств переменного тока в постоянный на предприятиях проводной связи применяются автоматизированные полупроводниковые выпрямительные устройства типов ВУ, ВУЛС и ВУК, которые могут работать в режиме стабилизации напряжения (с точностью $\pm 2\%$) и в режиме стабилизации тока (с точностью $\pm 5\%$). Промышленностью выпускается большая серия выпрямительных устройств, удовлетворяющая как по напряжению, так и по мощности потребностям предприятий

различных отраслей связи. Номенклатура и описание выпрямительных устройств приведены в [19].

Согласно НТП 45.326—71 на всех предприятиях проводной связи, имеющих собственную резервную электростанцию, кроме ОУП кабельных магистралей при многобатарейном и однобатарейном принципах построения ЭПУ, применяются одногруппные батареи,

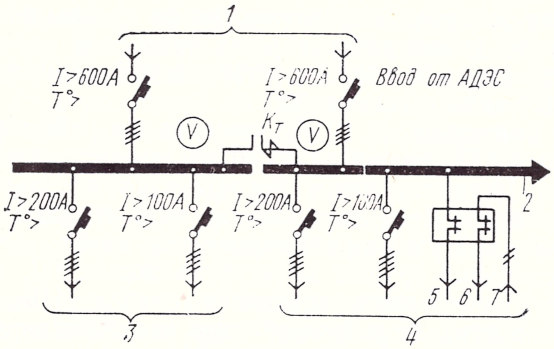


Рис. 13.3. Схема щита переменного тока типа ЩПТА-380/600:

1 — ввод от источника внешнего электроснабжения; *2* — к выпрямительным устройствам; *3* — секция негарантированных потребителей; *4* — секция гарантированных потребителей; *5* — аварийное освещение ~ 220 В; *6* — аварийное освещение ±24 ÷ 220 В; *7* — от аккумуляторной батареи

составленные из стационарных кислотных аккумуляторов. Емкость одногруппной батареи определяется числом дизель-генераторных установок. При одной дизель-генераторной установке запас емкости рассчитывается на один час разряда током наибольшей нагрузки. При двух или трех дизель-генераторных установках — на 0,5 ч. На ОУП кабельных магистралей независимо от числа дизель-генераторных установок применяются двухгруппные аккумуляторные батареи с запасом емкости на 0,5 ч от каждой группы.

Если собственной электростанции нет, то на всех предприятиях проводной связи, кроме городских АТС емкостью до 2000 номеров и предприятий сельской связи, устанавливаются двухгруппные аккумуляторные батареи с запасом емкости на три часа разряда током наибольшей нагрузки (от двух групп).

В электроустановках городских АТС до 2000 номеров и предприятий сельской связи, имеющих круглосуточное электроснабжение, устанавливаются одногруппные батареи с запасом емкости на три часа разряда током наибольшей нагрузки. Если круглосуточного электроснабжения нет, устанавливаются одногруппные батареи с запасом емкости на время перерыва в электроснабжении или рассчитанные на три часа разряда током наибольшей нагрузки.

Для регулирования напряжения в цепях постоянного тока при помощи дополнительных элементов применяется как оборудование общего типа (например, станции коммутации дополнительных

элементов БНВI, БНВII и ПНВ и др.), так и специально предназначенное для электропитающих установок предприятий проводной связи (например, шкаф коммутации типа ШК 60/150).

Для регулирования напряжения в цепях постоянного тока при помощи полупроводниковых вентилей и противоэлементов применяются станции коммутации типов КСШП-4 и КСШП-5. Первая предназначена для коммутации одной группы, а КСШП-5 — двух нелинейных элементов. Схемы включения станций коммутации дополнительных элементов, а также нелинейных элементов приведены ниже.

Все предприятия проводной связи должны быть оборудованы заземлениями согласно ГОСТ 464—68.

13.6. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ЭПУ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

В связи с унификацией номинальных значений напряжений для питания аппаратуры различных отраслей связи, а также наличием надежного электроснабжения предприятий проводной связи от внешних источников электроэнергии или от собственных автоматизированных электростанций в настоящее время для питания различной аппаратуры, независимо от группы электроснабжения, применяются одинаковые типовые схемы ЭПУ.

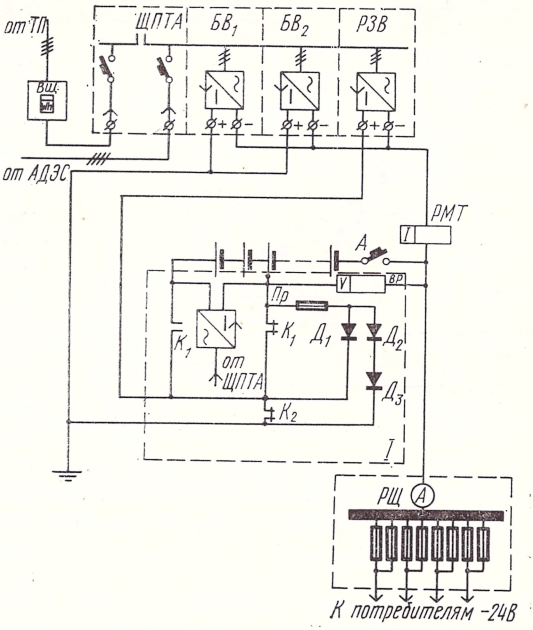


Рис. 13.4. Схема ЭПУ-24В с автоматической коммутацией аккумуляторной батареи:
1 — устройство безобрывной коммутации на базе КСШП-4

Рассмотрим схему рис. 13.4. При наличии сети переменного тока аппаратура получает питание от буферных выпрямительных устройств $БВ_1$ и $БВ_2$ через распределительный щит РШ. Резервный зарядный выпрямитель подключен параллельно к буферным выпрямителям через нормально замкнутый контакт контактора $К_2$. Питание аппаратуры резервируется от основной группы аккумуляторной батареи, состоящей из 11 элементов, через нормально замкнутые контакты контакторов $К_1$ и $К_2$.

При отключении сети переменного тока срабатывает реле минимального тока РМТ и через промежуточное реле замыкается

цепь питания контактора K_1. В результате последовательно к основной подключается дополнительная группа аккумуляторов, состоящая из двух элементов. Безобрывность питания аппаратуры при переключении контактора K_1 обеспечивается вентилем $Д_1$ от одиннадцати элементов аккумуляторной батареи. Колебания напряжения на нагрузке при разряде и коммутации аккумуляторной батареи в этом случае не выходят за пределы ±10% от номинального значения.

Послеаварийный заряд всей аккумуляторной батареи осуществляется от резервного зарядного выпрямителя, работающего в режиме стабилизации по току (первая ступень заряда), через нормально разомкнутые контакты контактора K_1 до напряжения 2,3 В/эл, при котором срабатывает вольтметровое реле *ВР*. После чего схема возвращается в исходное состояние. Вторая ступень заряда дополнительной группы аккумуляторной батареи при стабилизации напряжения на уровне 2,2 В/эл, а также содержание ее осуществляется выпрямителем содержания *ВС*. Безобрывность подключения основной группы аккумуляторной батареи к нагрузке при ее заряде до напряжения 2,3 В/эл осуществляется вентилями $Д_2$ и $Д_3$. Если необходим контрольный заряд до 2,7 В/эл, аккумуляторная батарея отключается от нагрузки предохранителем *Пр*.

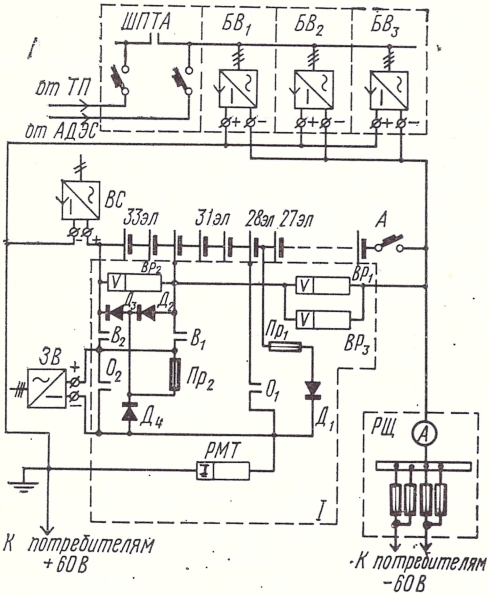


Рис. 13.5. Схема ЭПУ-60В с автоматической коммутацией аккумуляторной батареи: *1* — устройство безобрывной коммутации на базе ПНВ

Рассмотренная схема автоматизированной ЭПУ может применяться при любой группе электроснабжения как при многобатарейном, так и при однобатарейном принципах построения для питания транзисторной аппаратуры тонального телеграфа, транзисторной аппаратуры дальней связи, коммутаторов ручных МТС, городских РТС и других потребителей напряжения 24 В±10% [см. 31].

Схема рис. 13.5 подробно описана в [32].

В нормальном режиме работы ЭПУ питание аппаратуры связи осуществляется от выпрямительных устройств *БВ*, работающих в режиме стабилизации напряжения (60—62) В±2%. К этим же выпрямительным устройствам подключены через замкнутые кон-

такты контактора O_1 28 элементов основной группы и осуществляется их непрерывный подзаряд. Остальные пять элементов аккумуляторной батареи подзаряжаются от маломощного выпрямителя *ВС*, поддерживающего на них напряжение 2,2 В/эл. Вольтодобавочный (бустерный) зарядный выпрямитель *ЗВ* отключен.

При пропадании напряжения переменного тока отключаются выпрямительные устройства *БВ* и питание к нагрузке подается от 28 элементов основной группы через замкнутые контакты контактора O_1 и реле минимального тока *РМТ*. В результате срабатывает *РМТ* (поляризованное реле), что приводит к размыканию контактов O_1 и последующему замыканию контактов O_2 и B_1, т. е. к нагрузке подключается 31 элемент аккумуляторной батареи. Безобрывность питания нагрузки на интервале коммутации обеспечивается от 27 элементов вентилем $Д_1$.

При уменьшении напряжения на нагрузке в процессе разряда 31 элемента ниже 59 В срабатывает вольтметровое реле $ВР_1$, в результате размыкаются контакты B_1 и замыкаются B_2, т. е. к нагрузке подключаются 33 элемента аккумуляторной батареи. Питание нагрузки при переключении контакторов B_1 и B_2 обеспечивается через вентиль $Д_2$.

В послеаварийном режиме первая ступень заряда аккумуляторной батареи до напряжения 2,3 В/эл осуществляется от последовательно включенных *БВ* и *ЗВ* без отключения от нагрузки. Вторая ступень заряда при напряжении 2,2 В/эл осуществляется от *БВ* и *ВС*. Колебания напряжения во всех режимах работы ЭПУ не выходят за пределы 58—64 В. Вентили $Д_3$, $Д_4$ обеспечивают безобрывность заряда аккумуляторной батареи от *БВ* при размыкании контактов контактора O_2 и включении *ЗВ*.

Схема рис. 13.5 применяется на АТС декадно-шаговой и координатной систем коммутации, на МТС областного узла, на АМТС средней емкости, в установках прямых соединений телеграфных станций и на предприятиях сельской связи (при токах от 25 А до 7 кА), а также для других потребителей напряжения ±60 В при многобатарейном и однобатарейном принципах построения ЭПУ.

Для стабилизации напряжения +206 В (с точностью ±3%) применяется схема с автоматической коммутацией четырех групп дополнительных элементов. Аккумуляторная батарея в этом случае выполняется с отводами от 98, 105, 109 и 113 элементов. Подробное описание схемы приведено в [33].

Общим недостатком схем рис. 13.4 и 13.5 является то, что напряжение регулируется скачками и изменяется в относительно широких пределах. Поэтому питание потребителей, предъявляющих жесткие требования к стабильности напряжений, необходимо осуществлять через индивидуальные стабилизаторы. Однако в этом случае требуется гасить на регулирующих элементах индивидуальных стабилизаторов достаточно большие напряжения.

Более целесообразным является применение централизованных стабилизирующих устройств, построенных по принципу вольтодобавок.

На рис. 13.6 показана структурная схема ЭПУ на напряжение —24 В с применением регулируемого вольтодобавочного устройства РВДУ.

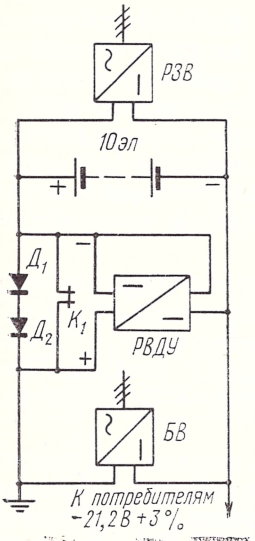


Рис. 13.6. Схема ЭПУ-24В с применением стабилизированного вольтодобавочного устройства

При наличии сети переменного тока аппаратура питается от буферных выпрямительных устройств *БВ*. Резервный зарядный выпрямитель *РЗВ* подключен параллельно к *БВ* через контактор K_1. Питание аппаратуры резервируется от *АБ* из 10 элементов, работающей в режиме непрерывного подзаряда, *РВДУ* выключено.

В случае отключения сети переменного тока размыкаются контакты контактора K_1 и включается *РВДУ* [34], стабилизируя напряжение на нагрузке в процессе разряда *АБ*.

В послеаварийном режиме включается *РЗВ* в режиме стабилизации по току и *АБ* заряжается до напряжения 2,3 В/эл. При этом *РВДУ* выключено и контакты контактора K_1 разомкнуты. Вентили $Д_1$ и $Д_2$ исключают возможность разряда на нагрузку, так как напряжение на выходе *БВ* стабилизируется на уровне 22 В. При достижении напряжения на *АБ* 2,3 В/эл включается контактор K_1 и схема возвращается в исходное состояние.

Максимальное значение выходной мощности РВДУ

$$P_{\text{РВДУ}\,max} = [U_{\text{н}\,min} + \Delta U - U_{\text{кр}} n]\, I_{\text{н}\,max},$$

где $U_{\text{н}\,min}$ — минимально допустимое напряжение питания аппаратуры; ΔU — максимальное падение напряжения в коммутационных и распределительных устройствах от *АБ* до нагрузки; $U_{\text{кр}}$ — напряжение элемента аккумуляторной батареи в конце разряда; n — число элементов *АБ*; $I_{\text{н}\,max}$ — максимальное значение тока нагрузки.

Уменьшение выходной мощности *РВДУ* можно обеспечить применением автоматической коммутации дополнительных групп аккумуляторной батареи.

На рис. 13.7 приведена структурная схема электроустановки крупных предприятий проводной связи при безбатарейном принципе построения ЭПУ с применением двухлучевой схемы включения выпрямительных устройств.

В нормальном режиме *АДЭС* не работает и оба трансформатора на *ТП* обеспечивают примерно по 50% нагрузки станции. При отключении любого из внешних источников электроснабжения до момента запуска *АДЭС* питание секций гарантированных

и негарантированных потребителей осуществляется от одного трансформатора. После появления напряжения на стороне *Н* устройства $АВР_3$ происходит переключение последнего, в результате чего секция гарантированных потребителей подключается к *АДЭС*. Электроснабжение секции негарантированных потребителей прекращается только при отключении обоих внешних источников электроэнергии.

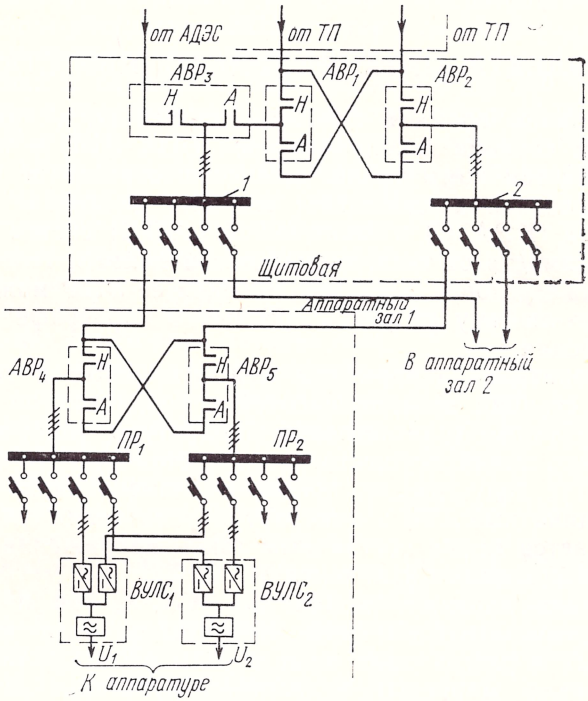


Рис. 13.7. Структурная схема электроустановки крупной станции:

1 — секция негарантированных потребителей; *2* — секция гарантированных потребителей

Из щитовой, которая размещается обычно в подвальном или первом этажах здания, от каждой секции прокладывается магистральный кабель в аппаратный зал станции. Оба магистральных кабеля через устройства *АВР* ($АВР_4$ и $АВР_5$) заводятся на распределительные пункты ($ПР_1$ и $ПР_2$), к которым по двухлучевой схеме подключаются выпрямительные устройства системы ВУЛС. В нормальном режиме работы ЭПУ каждый из выпрямителей системы ВУЛС загружен не более чем на 50% номинальной мощности. Каждый выпрямитель загружен полностью только при отключении половины выпрямителей системы ВУЛС.

Рассмотренная схема электроустановки может применяться только при группе электроснабжения IA на крупных городских

телефонных и телеграфных станциях, а также на крупных МТС.

На сетевых узлах связи и обслуживаемых усилительных пунктах кабельных магистралей, уплотняемых аппаратурой К-1920 (К-1920У), потребители постоянного тока питаются также от выпрямительных устройств, включенных по двухлучевой схеме. Отличие заключается в том, что один или оба распределительных пункта подключают не к сети переменного тока, а к установкам гарантированного питания.

13.7. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ТЕЛЕФОННЫХ СТАНЦИЙ

В настоящее время в основном применяются автоматические телефонные станции декадно-шаговой (АТС-ДШ) и координатной (АТС-К) систем коммутации. Дальнейшее развитие автоматической электросвязи предполагает широкое внедрение АТС квазиэлектронной (КЭАТС) и электронной (ЭАТС) систем коммутации.

В зависимости от типа, назначения и емкости телефонной станции, а также условий электроснабжения ее ЭПУ может быть выполнена по любому из рассмотренных в параграфе 13.3 принципов построения.

Электропитание аппаратуры междугородных и городских телефонных станций декадно-шаговой и координатной систем коммутации, а также транзисторной аппаратуры уплотнения их соединительных линий осуществляется постоянным током напряжения —60 В с допустимыми пределами изменения 58—66 В. Сельские координатные АТС и аппаратура уплотнения соединительных линий питается также постоянным током напряжения —60 В с допустимыми пределами изменения 54—72 В.

Пульсация напряжения как для АТС-К, так и АТС-ДШ не должна превышать 5 мВ псофометрических. Для приборов, не включенных в разговорные цепи и узлы бесконтактного управления (например, маркеры), допускается пульсация напряжения до 100 мВ псофометрических.

Характерной особенностью телефонных станций является то, что нагрузка ЭПУ существенно меняется в течение суток. Поэтому исходной величиной при расчете источников электропитания является величина тока в час наибольшей нагрузки (чнн). Ток в чнн для АТС-ДШ на 10 000 номеров составляет 400—450 А, а для АТС-К на 10 000 номеров соответственно 500—550 А. Электропитающие установки для АТС-К и АТС-ДШ в основном схожи.

В настоящее время на междугородных, городских и сельских АТС-К и АТС-ДШ все чаще применяются ЭПУ, построенные по схеме рис. 13.5. Эта схема позволяет создать полностью автоматизированную, надежную, необслуживаемую ЭПУ с высокими энергетическими показателями. В качестве буферных выпрямителей должны применяться автоматизированные устройства типа ВУК, а в качестве аккумуляторов — кислотные аккумуляторы закрытого типа.

Если ЭПУ телефонной станции оборудуется двухгруппной аккумуляторной батареей в схему рис. 13.5, добавляется вторая ветвь с секционированной аккумуляторной батареей, которая для повышения надежности ЭПУ должна коммутироваться отдельным устройством безобрывной коммутации, со своим зарядным выпрямителем и выпрямителем содержания.

На крупных городских и междугородных телефонных станциях для группы электроснабжения IA может использоваться безбатарейный принцип построения ЭПУ с применением двухлучевой схемы включения выпрямительных устройств.

На сельских и служебных АТС емкостью до 500 номеров декадно-шаговой и координатной систем коммутации (АТС-100/500 М, АТС К-50/200 и АТС К-100/500) в настоящее время применяются ЭПУ, в которых в нормальном режиме работы аппаратура питается от выпрямительных устройств типа ВБ-60, а аккумуляторная батарея (несекционированная) отключена от нагрузки и получает непрерывный подзаряд от отдельного выпрямителя. В аварийном режиме работы ЭПУ аппаратура питается от аккумуляторной батареи, т. е. на время подключения ее к нагрузке имеет место перерыв в питании. Схемы ЭПУ с отключенной аккумуляторной батареей приведены в [19, 35].

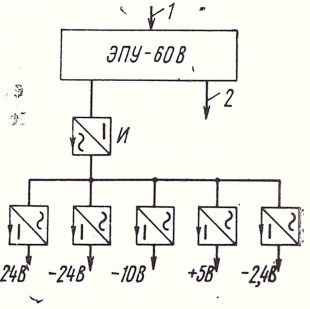


Рис. 13.8. Структурная схема ЭПУ ЭАТС сельской связи:
1 — сеть переменного тока; *2* — потребители —60 В

Для нормальной работы аппаратуры АТС квазиэлектронной и электронной систем коммутации требуется не один, а несколько номиналов напряжения постоянного тока. Так, для питания аппаратуры ЭАТС сельской связи требуется шесть различных напряжений (—60, —24, +24, —10, +5 и —2,4 В) постоянного тока. Для питания аппаратуры ЭАТС и КЭАТС сельской связи применяется однобатарейный принцип построения ЭПУ с аккумуляторной батареей на напряжение —60 В. Другие номиналы напряжений получают при помощи выпрямителей, подключаемых к инвертору, как показано на рис. 13.8. На напряжение —60 В ЭПУ выполняется по схеме, аналогичной рис. 13.7.

13.8. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ТЕЛЕГРАФНЫХ СТАНЦИЙ

В настоящее время на телеграфных станциях устанавливается разнообразная аппаратура: телеграфные аппараты, оборудование абонентского, тонального и фототелеграфа, автоматизированное оборудование станций прямых соединений.

Для нормальной работы телеграфных аппаратов должно быть обеспечено электропитание линейных и местных цепей, а также двигателей этих аппаратов. Линейные и местные цепи требуют напряжений одинаковой величины, но разных знаков. В соответ-

ствии с ГОСТ 5237—69 электропитание как местных, так линейных цепей должно осуществляться напряжениями —60 В и +60 В постоянного тока с допустимыми пределами изменения 58—68 В. Действующее значение пульсации этих напряжений не должно превышать 0,6 В.

Напряжения ±120 В и ±160 В для питания линейных цепей используют только в особых случаях, при соответствующем техническом обосновании.

Питание автоматических станций абонентского телеграфирования и прямых транзитных соединений как декадно-шаговой, так и координатной систем коммутации также осуществляется напряжениями +60 В и —60 В, при тех же пределах изменения и допустимой пульсации, что и для питания местных и линейных цепей телеграфных аппаратов. Для питания этих станций также необходимо напряжение однофазного переменного тока 220 В.

Питание аппаратуры вторичного уплотнения, позволяющей использовать каналы тональной частоты для организации телеграфной связи (аппаратура тонального телеграфирования) или передачи данных может осуществляться непосредственно от сети переменного тока через собственные выпрямители и стабилизаторы или от ЭПУ напряжением —24 В постоянного тока. Некоторые типы аппаратуры тонального телеграфирования (АРК-ТТ-20 и ТД-1) требуют также напряжений ±60 В.

Питание всей аппаратуры фототелеграфа, а также электродвигателей телеграфных аппаратов должно осуществляться от сети переменного тока напряжением 220 В.

Характерной особенностью ЭПУ телеграфных станций является то, что нагрузка носит импульсный характер и значительно меняется в течение суток. Поэтому исходной величиной при расчете источников электропитания является величина тока в час наибольшей нагрузки, а пульсации напряжений постоянного тока измеряются при работе на чисто омическую нагрузку.

В зависимости от мощности телеграфной станции, а также условий электроснабжения ее ЭПУ может быть выполнена по любому из рассмотренных в параграфе 13.3 принципов.

Чаще всего ЭПУ телеграфных станций строятся по многобатарейному принципу. В этом случае на напряжения —60 В и +60 В устанавливают отдельные ЭПУ, выполненные по схеме рис. 13.5, от которых получают питание местные и линейные цепи телеграфных аппаратов, а также автоматические станции абонентского телеграфирования и прямых соединений. Если необходимая мощность не может быть обеспечена выпускаемыми промышленностью выпрямительными устройствами типа ВУ или ВУК, на каждое из напряжений —60 В и +60 В устанавливают несколько ЭПУ. Аварийное освещение, а в некоторых случаях и питание цепей электродвигателей телеграфных аппаратов обеспечивается от последовательно соединенных аккумуляторных батарей +60 и —60 В. Аппаратура, потребляющая энергию переменного тока, может питаться от сети через общий стабилизатор напряжения перемен-

ного тока (колебания напряжения не должны превышать ±3%) с резервированием от автопускаемого или от постоянно действующего УГП. Для питания аппаратуры тонального телеграфа, требующей напряжения —24 В, на телеграфных станциях может оборудоваться отдельная ЭПУ, выполненная по схеме рис. 13.4.

На крупных телеграфных станциях при группе электроснабжения IA и наличии собственной резервной электростанции может использоваться безбатарейный принцип построения ЭПУ с применением двухлучевой схемы включения выпрямительных устройств (см. рис. 13.7).

13.9. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕЖДУГОРОДНОЙ СВЯЗИ

К предприятиям междугородной (дальней) связи относятся: главные, областные, межрайонные и районные узлы связи (ГУ, ОУ, МРУ и РУ); междугородные телефонные станции (МТС); оконечные, переприемные и усилительные пункты (ОП, ПП и УП) кабельных и воздушных, а также радиорелейных магистралей связи.

В соответствии с ГОСТ 5237—69 электропитание транзисторной аппаратуры линейно-аппаратного цеха (ЛАЦ) узла связи, а также ОП, ПП и УП кабельных и воздушных магистралей связи должно осуществляться напряжением —24 В±10% постоянного тока (первая ступень стабилизации). Вторая ступень стабилизации с точностью не ниже ±3% обеспечивается индивидуальными электронными стабилизаторами, входящими в состав самой аппаратуры. Питание накальных цепей ламповой аппаратуры осуществляется напряжением —21,2 В±3%. Анодные цепи аппаратуры дальней связи должны питаться напряжением +206 В±3%. Действующее значение пульсации напряжений для питания транзисторной аппаратуры и анодных цепей ламповой аппаратуры не должно превышать 250 мВ в диапазоне частот до 300 Гц и 15 мВ при частоте 300 Гц и выше. Действующее значение пульсации напряжения для питания накальных цепей ламповой аппаратуры не должно превышать 3 В. Различные вспомогательные цепи аппаратуры дальней связи должны питаться напряжением —24 В±10% (действующее значение пульсации не должно превышать 1,2 В). Для питания некоторых видов аппаратуры дальней связи требуется напряжение 220 В переменного тока.

Характерным для ЭПУ ЛАЦ является то, что нагрузка практически не меняется в течение суток.

Для предприятий междугородной связи ЭПУ должны обеспечивать бесперебойное питание не только аппаратуры ДАЦ, но и всех других потребителей. Так, МТС (АМТС) может быть совмещена с ОП и ПП. В этом случае требуется обеспечивать питание как аппаратуры ЛАЦ, так и коммутаторного (автоматного) цеха.

В настоящее время на кабельных и воздушных магистралях широко применяется дистанционное питание УП. Поэтому обслуживаемые усилительные пункты (ОУП), с которых осуществляется дистанционное питание, должны оборудоваться соответствующими электропитающими установками.

В крупных коммутационных узлах (ГУ, ОУ и МРУ), входящих в общую сеть междугородной связи, при любой группе электроснабжения ЭПУ строятся по однобатарейному принципу с применением двухлучевой схемы включения выпрямительных устройств: от сети переменного тока и постоянно действующих УГП. Питание УГП резервируется от аккумуляторной батареи напряжением +220 В. Аппаратура, критичная к воздействию импульсных помех и толчков напряжения в сети, питается от выпрямительных устройств, подключенных по двухлучевой схеме к двум УГП [19]. Выпрямительные устройства устанавливаются непосредственно в аппаратных залах.

На крупных МТС и АМТС (не ниже областного значения) при группе электроснабжения IA ЭПУ строятся по безбатарейному принципу с применением двухлучевой схемы включения выпрямительных устройств (см. рис. 13.7). Выпрямительные устройства типа ВУЛ устанавливаются непосредственно в ЛАЦ и коммутаторном или автоматном цехе.

На МТС (АМТС) ниже областного значения и РУС при любой группе электроснабжения ЭПУ строятся, как правило, по многобатарейному принципу. В этом случае для каждого из номиналов напряжения постоянного тока устанавливается отдельная выпрямительно-аккумуляторная установка. Транзисторная аппаратура, цепи сигнализации и другие вспомогательные цепи ЛАЦ питаются от выпрямительно-аккумуляторной установки напряжением —24 В±10%, выполненной по схеме рис. 13.4.

В настоящее время питание накальных цепей ламповой аппаратуры и транзисторной аппаратуры ЛАЦ, разработанной до 1970 г., осуществляется от выпрямительно-аккумуляторной установки —24 В±10% через угольные регуляторы, устанавливаемые непосредственно в ЛАЦ. Более целесообразным для питания потребителей напряжения —21,2 В±3% является применение выпрямительно-аккумуляторной установки, выполненной по схеме рис. 13.6. Анодные цепи ламповой аппаратуры ЛАЦ питаются от выпрямительно-аккумуляторной установки (см. рис. 13.5) напряжением +220 В±10%, через угольные регуляторы, устанавливаемые непосредственно в ЛАЦ или от выпрямительно-аккумуляторной установки (см. рис. 13.6). В отдельных случаях, при небольшой мощности, потребляемой анодными цепями, они питаются от выпрямительно-аккумуляторной установки напряжением —24 В±10% через стабилизированные полупроводниковые преобразователи, установленные непосредственно в ЛАЦ. Выпрямительно-аккумуляторные установки коммутаторного (автоматного цеха) и аппаратуры телеграфа рассмотрены в параграфах 13.7 и 13.8. При наличии на станции потребителей, требующих гарантированного пе-

ременного тока, оборудуется резервная установка гарантированного питания (при всех группах электроснабжения, кроме IA).

При соответствующем технико-экономическом обосновании ЭПУ МТС (АМТС) и РУС могут строиться по однобатарейному принципу с применением двухлучевой схемы включения выпрямительных устройств.

ЭПУ ОУП кабельных и воздушных магистралей, уплотняемых многоканальными системами, выполненными на полупроводниковых приборах, при любой группе электроснабжения строятся по однобатарейному принципу. В этом случае на ЭПУ оборудуется только одна выпрямительно-аккумуляторная установка на напряжения —24 В±10% (см. рис. 13.4). Высокое напряжение (до 1000 В) для дистанционного питания аппаратуры необслуживаемых усилительных пунктов (НУП) получают от выпрямительно-аккумуляторной установки —24 В±10% при помощи полупроводниковых преобразователей.

Для воздушных и симметричных кабелей магистралей проводной связи, уплотняемых многоканальными системами, выполненными на лампах при любой группе электроснабжения ЭПУ ОУП, строятся, как правило, по многобатарейному принципу. В этом случае на ЭПУ оборудуется выпрямительно-аккумуляторная установка на напряжение —24 В±10% и на напряжение +220 В±10%.

Дистанционное питание аппаратуры НУП осуществляется непосредственно от полупроводниковых преобразователей, устанавливаемых на специальных стойках СППТ [19] в ЛАЦ или от выпрямительно-аккумуляторной установки напряжением +220 В и вольтодобавочных полупроводниковых преобразователей. Полупроводниковые преобразователи подключаются к выпрямительно-аккумуляторной установке напряжением —24 В.

Для магистрали коаксиального кабеля, уплотняемого системами связи К-1920 или К-1920У, ЭПУ ОУП оборудуется выпрямительно-аккумуляторной установкой напряжением +220 В±10%, выполненной по схеме, подобной рис. 13.5. Аккумуляторная батарея состоит из 117 элементов с отпайками от 105 и 111 элементов. Выпрямительно-аккумуляторная установка напряжением +220 В±10% предназначена для питания однофазных тиристорных инверторов или для питания двигателей постоянного тока трехмашинных агрегатов (при пропадании сети переменного тока), а также аварийного освещения.

При наличии на ОУП другой ламповой аппаратуры связи (кроме аппаратуры коаксиального кабеля) эта выпрямительно-аккумуляторная установка может использоваться для питания ее анодных цепей.

Питание аппаратуры ЛАЦ систем связи К-1920 и К-1920У, а также дистанционное питание аппаратуры НУП этих систем может подаваться от постоянно действующих однофазных тиристорных инверторов или трехмашинных агрегатов.

Для питания аппаратуры НУП электроэнергия по коаксиальному кабелю передается однофазным током по нескольким цепям.

Дистанционное электропитание аппаратуры усилительных пунктов на магистралях связи

14.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Внедрение на магистралях проводной связи новых многоканальных систем передачи различной информации значительно расширяет диапазон передаваемых частот, а следовательно, сокращает длины участков усиления. Если для системы передачи КВ-12 длина участка усиления равна примерно 27 км, то для системы К-60 она равна примерно 20 км, а для разрабатываемой системы К-3600 она будет составлять 3 км.

Уменьшение длины участков усиления, а также увеличение протяженности самих магистралей проводной связи приводит к росту числа усилительных пунктов на них. При большом их числе экономически невыгодно оборудовать каждый из них собственной ЭПУ. Поэтому на магистралях проводной связи широко применяется дистанционное питание усилительных пунктов.

Дистанционным питанием (ДП) называется передача электрической энергии для электропитания аппаратуры связи и других вспомогательных устройств, установленных на промежуточных усилительных пунктах, по тем же цепям, по которым организуется связь.

Возможно ДП с оконечных пунктов магистралей или сетевых узлов и промежуточных усилительных пунктов с ЭПУ. Промежуточные усилительные пункты, из которых подается ДП, называются питающими или основными (опорными) усилительными пунктами (ОУП).

Усилительные пункты, аппаратура которых получает ДП, на кабельных магистралях называются питаемыми или необслуживаемыми (НУП), а на воздушных магистралях, уплотняемых 12-канальной системой — вспомогательными (ВУП).

Эффективность системы ДП определяется в основном соотношением на магистрали связи числа ОУП и НУП. Чем больше НУП и меньше ОУП, т. е. чем длиннее секция ДП (участок магистрали между двумя соседними ОУП), тем выше технико-экономические показатели магистрали, поскольку НУП намного дешевле ОУП как по капитальным затратам, так и по эксплуатационным расхо-

дам. Поэтому при разработке систем многоканальной связи и ДП исходят из необходимости получения наибольшей длины секции ДП. Кроме того, при разработке и выборе системы ДП должны учитываться следующие требования:

— максимальная надежность и экономичность системы ДП в целом;

— отсутствие или минимальное влияние тока ДП на каналы связи;

— минимальная подверженность влиянию со стороны различных посторонних ЭДС и токов как самих цепей ДП, так и каналов связи;

— малогабаритность и простота устройств питания НУП.

Существуют две основные схемы подачи электроэнергии для питания нагрузок НУП: «провод—провод» и «провод—земля».

В первом случае в качестве обратного провода ДП используется цепь, составленная из жил кабеля или проводов воздушной линии, такая же, как цепь прямого провода. Во втором случае в качестве обратного провода используется земля, и цепь создается через заземления, оборудуемые на НУП и ОУП.

Схема «провод—провод» хорошо защищена от посторонних влияний, возникающих под влиянием магнитных бурь, электрифицированных железных дорог и других причин, но не обеспечивает необходимой дальности действия из-за большого сопротивления линии дистанционного питания.

Возможно ДП как постоянным, так и переменным током. К преимуществам ДП постоянным током по сравнению с ДП переменным током следует отнести:

— большую экономичность системы за счет применения схемы «провод—земля»;

— простоту устройств питания на НУП, так как при ДП постоянным током, в отличие от ДП переменным током, не нужно применение на каждом НУП трансформаторов, выпрямителей и сглаживающих фильтров; отсутствие влияния на каналы низкой частоты, при ДП переменным током, большие мешающие влияния требуют сложных и дорогих фильтров для организации каналов низкой частоты, необходимых для служебной связи;

— возможность обеспечения бесперебойности ДП (при нарушении внешнего электроснабжения ОУП) без применения на ОУП устройств гарантированного переменного тока, усложняющих ЭПУ и снижающих ее надежность;

— передача электрической энергии постоянным током более благоприятна в отношении электрической прочности кабеля (максимальное напряжение ДП ограничивается электрической прочностью кабеля) [18]. Схема «провод—земля» применяется только при ДП постоянным током [2].

В СССР принято ДП аппаратуры уплотнения симметричного кабеля и воздушных линий, а также транзисторных многоканальных систем на магистралях коаксиального кабеля осуществлять постоянным током.

Только на магистралях коаксиального кабеля, уплотняемых системами связи с ламповой аппаратурой К-1920 и К-1920У, применяется ДП переменным током промышленной частоты 50 Гц.

14.2. ДИСТАНЦИОННОЕ ПИТАНИЕ ЛАМПОВОЙ АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ СИММЕТРИЧНОГО КАБЕЛЯ

Пары симметричного кабеля, уплотняемые многоканальными системами связи, состоят из двух медных жил диаметром 1,2 мм (с сопротивлением постоянному току 15,5 Ом/км), изолированных друг от друга бумажным или стирофлексным корделем. Две пары свиваются вместе, образуя четверку. Наибольшее применение находят четырехчетверочные (4×4×1,2), семичетверочные (7×4×1,2) и одночетверочные (1×4×1,2) кабели. Для линий сельской связи применяются также одночетверочные кабели типа КСПП с диаметром жилы 0,9 мм.

Применяются как двухкабельные магистрали, уплотняемые однополосными системами связи К-24-2 и К-60 (по каждому кабелю передаются высокочастотные сигналы только в одном направлении), так и однокабельные магистрали, уплотняемые системами связи КВ-12 и КРР 30/60. Система связи КРР 30/60 может применяться и на двухкабельных магистралях.

Основной схемой передачи электрической энергии для электропитания аппаратуры НУП является «провод—земля». Эта схема обеспечивает большую дальность электропередачи по сравнению со схемой «провод—провод» и применяется при любой системе уплотнения, если посторонние ЭДС между заземлениями ОУП и НУП, возникающие под влиянием земных бурь, электрифицированных железных дорог и других причин, не превышают 75 В, т. е. величину, которая может быть скомпенсирована при применении полупроводниковых компенсаторов.

Каждая система уплотнения К-24-2, К-60, КВ-12 и КРР 30/60 состоит из двух ламповых усилителей. В системах уплотнения К-24-2 и К-60 применяются универсальные четырехламповые усилители К-24-60. Анодное напряжение усилителей К-24-60 составляет 140 В. Каждый усилитель системы КВ-12 собран на трех лампах и его анодное напряжение составляет 130 В. Каждый усилитель системы КРР 30/60 выполнен на пяти лампах, для питания анодных цепей которых необходимо напряжение 160 В.

Электрическая энергия на каждый НУП передается по отдельным цепям. В этом случае нагрузка в каждой цепи ДП остается неизменной (изменение сопротивления жил кабеля за счет изменения температуры незначительно). Поэтому для стабилизации напряжения на НУП достаточно стабилизировать напряжение ДП на ОУП.

По каждой цепи ДП питаются как анодные, так и накальные цепи высокочастотных усилителей одной или нескольких систем уплотнения, а также низкочастотные усилители служебной связи. Напряжение на каждом НУП определяется величиной, необходи-

мой для питания анодных цепей усилителей данной системы уплотнения. Нити накала ламп соединяются между собой последовательно, а аноды параллельно. Если напряжение, необходимое для питания цепей накала, отличается от анодного, то в цепь накала или анода включаются резисторы. При большом числе ламп, питаемых по одной цепи ДП, нити накала их могут соединяться между собой последовательно — параллельно. Полупроводниковые УНЧ включаются последовательно в цепь накала через нелинейные сопротивления, в качестве которых применяются полупроводниковые диоды. Нелинейными сопротивлениями стабилизируются напряжения питания УНЧ.

Цепи ДП могут быть организованы по средним точкам пары проводов, по средним точкам двух пар проводов (по четверке), а также выполняться комбинированными, т. е. как по средним точкам двух пар проводов (на отдельных усилительных участках), так и по средним точкам пары проводов.

По отдельным жилам кабеля цепи ДП не создаются, так как при этом необходимо на ОУП и НУП разделять цепи ДП (постоянного тока) и высокочастотных сигналов специальными фильтрами, усложняющими устройства ДП.

При организации цепей ДП для различных НУП стремятся по возможности получить равные сопротивления этих цепей, что позволяет уменьшить потери энергии в устройствах ДП на ОУП и НУП за счет исключения гасящих резисторов или уменьшения их величин. Устройства ДП для всех цепей одинаковы. Максимальное напряжение, подаваемое в цепь ДП, ограничивается электрической прочностью изоляции кабеля и составляет 450 В.

Бесперебойность питания аппаратуры при числе НУП в секции ДП не более четырех и схеме «провод—земля» обеспечивается на двухкабельных магистралях наличием 100% резерва цепей ДП. При этом цепи ДП, организованные по одному кабелю, резервируются аналогичными цепями по второму кабелю. Цепи заменяются автоматически. Рабочие и резервные цепи ДП питаются с одного ОУП.

На схеме рис. 14.1 цепи ДП организуются по средней точке пары или четверки жил одного кабеля. По одной цепи ДП питаются две системы ВЧ (четыре четырехламповых усилителя) и один дуплексный усилитель НЧ (двухламповый). Так как сопротивление цепи ДП между ОУП и НУП1 меньше сопротивления цепи ДП между ОУП и НУП2, то в первую цепь включен гасящий резистор (гасящие резисторы устанавливаются в устройствах ДП на ОУП и НУП в каждой цепи ДП).

При числе НУП в секции от пяти до восьми резервные цепи не организуются (при полном уплотнении магистрали), а ДП резервируется от передвижных усилительных станций. В этом случае по каждому кабелю питаются 50% всех систем уплотнения, что обеспечивает сохранность 50% связей при снятии напряжения ДП с одного из кабелей.

Электрическая энергия в схеме рис. 14.2 передается по схеме «провод—земля». Как видно из рис. 14.2, кабельные пары распределяются между цепями ДП так, чтобы падение напряжения во

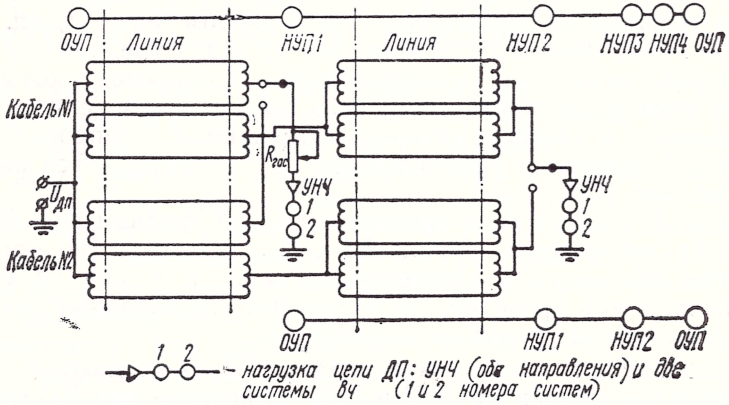


Рис. 14.1. Схема цепей ДП аппаратуры К-24-2 или К-60 при четырех или двух НУП в секции

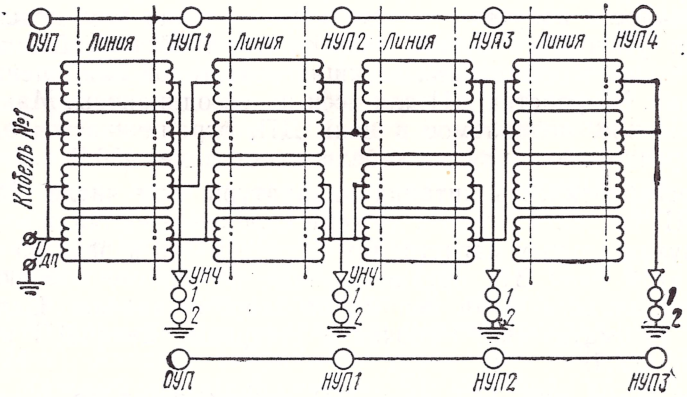


Рис. 14.2. Схема цепей ДП аппаратуры К-24-2 или К-60 при восьми и шести НУП в секции

всех цепях, по возможности, было одинаковым (на рис. 14.2 показаны только две четверки одного кабеля, так как схемы организации цепей по другим четверкам идентичны).

Если на двухкабельных магистралях (при числе НУП в секции от пяти до восьми) осуществляется первая очередь уплотнения, то цепи ДП, предназначенные в дальнейшем для питания систем уплотнения второй очереди, временно используют для резервирования цепей ДП действующих систем уплотнения.

При передаче электрической энергии по схеме «провод—провод» максимальное число НУП в секции сокращается в два раза

(не превышает четырех), по сравнению со схемой «провод—земля». В этом случае резервные цепи схемы «провод—земля» (см. рис. 14.1) используются в качестве обратного провода цепи ДП.

На однокабельных магистралях ДП резервируется с противоположного ОУП секции. Такое резервирование, называемое сквозным, может быть использовано также на двухкабельных магистралях. Недостатком сквозного резервирования является малая длина секции ДП (по сравнению с резервированием от передвижных усилительных станций).

Максимальное число НУП в секции ДП при передаче электрической энергии по схеме «провод—земля» на однокабельных магистралях, уплотняемых системами КВ-12 или КРР 30/60, равно четырем.

Схемы ДП рис. 14.3 составлены с двусторонним использованием резервных цепей, что дает возможность увеличить длину сек-

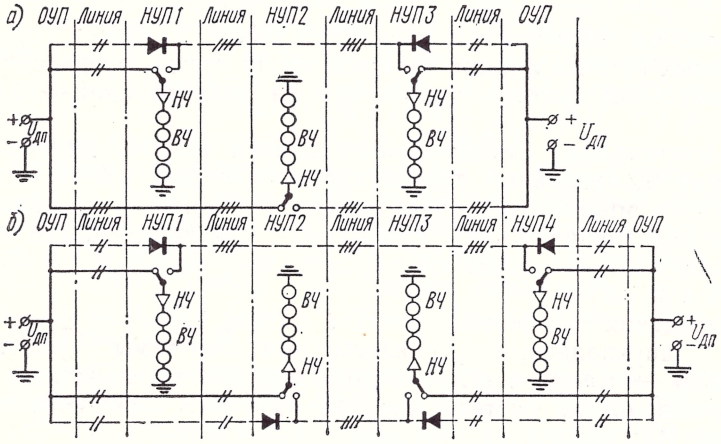


Рис. 14.3. Схема организации цепей ДП аппаратуры КВ-12: *а*) при трех НУП в секции; *б*) при четырех НУП в секции

ции и уменьшить напряжение источников электроэнергии. Для устранения уравнительных токов при различных значениях напряжений источников питания на ОУП или при наличии разности потенциалов между заземлениями этих ОУП в резервные цепи включены полупроводниковые вентили. Сплошными линиями на рис. 14.3 показаны рабочие цепи ДП, а пунктирными — резервные; черточками указано число жил кабеля в цепи ДП. По каждой рабочей цепи ДП питаются четыре системы уплотнения и усилитель служебной связи.

Цепи ДП для аппаратуры КРР 30/60 при трех и четырех НУП в секции строятся точно такими, как и для аппаратуры КВ-12 (рис. 14.3). Отличие заключается в том, что нити накала ламп четырех систем уплотнения соединяются между собой последовательно — параллельно, а не последовательно как в аппаратуре КВ-12. Это обусловливается тем, что каждый линейный усилитель

КРР 30/60 выполнен на пяти лампах (в аппаратуре КВ-12 — на трех). Поэтому для питания последовательно соединенных нитей накала ламп четырех систем требуется напряжение (не менее 252 В), превышающее допустимое значение между катодом и нитью накала лампы 6Ж1ПЕ.

При одном или двух НУП в секции ДП аппаратуры КРР 30/60 энергия может передаваться по схеме «провод—провод». В этом случае по каждой цепи ДП подается питание для двух систем уплотнения. Цепь ДП (как прямой, так и обратный провод) организуется по средним точкам пары жил кабеля (через средние точки линейных трансформаторов). Сквозное резервирование ДП может быть осуществлено только при одном НУП в секции.

14.3. ДИСТАНЦИОННОЕ ПИТАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОЙ АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ СИММЕТРИЧНОГО КАБЕЛЯ

Сейчас на магистралях проводной связи, а также городских телефонных сетях и линиях сельской связи все шире применяются многоканальные системы уплотнения на полупроводниковых приборах.

На магистралях симметричного кабеля широко применяются различные 60-канальные транзисторные системы уплотнения. На магистралях многочетверочного кабеля применяется однополосная система уплотнения К-60П. Магистрали одночетверочного кабеля уплотняются однополосными системами К-24П-2, К-60П-2М, К-60П-4 и К-60П-3.

В городских телефонных сетях и линиях сельской связи внедряются двухполосные транзисторные системы уплотнения КРР 30/60 — «Кама» и ИКМ-12. Для городских телефонных сетей ведется разработка системы уплотнения с импульсно-кодовой модуляцией ИКМ-32.

Применение полупроводниковых приборов вместо ламп в промежуточных усилителях на НУП позволяет значительно повысить уровень автоматизации кабельных магистралей за счет удлинения секции ДП и эксплуатационную надежность систем связи.

Однако системы ДП, рассмотренные в параграфе 14.2, не могут быть использованы для питания транзисторной аппаратуры уплотнения, так как не обеспечивают достаточно большую длину секции ДП. Длина секции ограничивается числом цепей ДП, которые можно организовать на магистрали. Так, на двухкабельных магистралях симметричного одночетверочного кабеля при схеме «провод—провод» можно организовать всего две цепи ДП, т. е. максимальное число НУП в секции равно четырем. Кроме того, транзисторная аппаратура чувствительна к перенапряжениям и перегрузкам по току, поэтому в системе ДП должна предусматриваться защита усилителей НУП в переходных и аварийных режимах.

Транзисторные усилители потребляют небольшую мощность при сравнительно низких напряжениях. Поэтому по каждой цепи

ДП осуществляется питание усилителей всех НУП (полусекции или секции) одной или двух систем уплотнения, что обеспечивает достаточно большую длину секции. При любой системе уплотнения все жилы кабеля используются для организации рабочих цепей ДП (резервные цепи не организуются). В пределах одной системы уплотнения все цепи ДП строятся одинаково.

В каждую цепь ДП (см. рис. 14.4) нагрузки всех НУП (блоки дистанционного питания БДП) одной или двух систем уплотнения включаются последовательно, что, по сравнению с параллельной схемой включения, обеспечивает большую дальность и значительно более высокий КПД системы ДП.

Защита транзисторных усилителей на НУП осуществляется специальными устройствами — БДП, представляющими собой параметрические или компенсационные полупроводниковые стабилизаторы напряжения постоянного тока. Для уменьшения мощности, рассеиваемой БДП, и увеличения длины секции на ОУП стабилизируется напряжение, подаваемое в цепь ДП. Каждая цепь ДП подключается на ОУП к индивидуальному транзисторному преобразователю. Стабилизация напряжения на НУП может осуществляться также за счет стабилизации тока в цепи ДП, что характерно для новых разработок (ИКМ-12, ИКМ-32).

Максимальное напряжение, подаваемое с ОУП в цепь ДП, а следовательно, длина секции ограничивается величиной электрической прочности изоляции кабеля (суммарное значение напряжения ДП и ЭДС, индуктируемых посторонними источниками, не должно превышать величины допустимого напряжения для данного типа изоляции жил кабеля). Максимальное напряжение ДП принимается равным 475 В.

Схема «провод—земля» применяется на двухкабельных магистралях, уплотняемых системой К-60П или К-60П-3. Цепи ДП организуются либо по средним точкам пары жил кабеля, либо по средним точкам двух пар жил кабеля. На рис. 14.4 черточками указано число жил кабеля, входящих в прямой и обратный провод цепи ДП.

В зависимости от числа систем уплотнения, питаемых по одной цепи ДП, различают индивидуальную и групповую системы ДП.

При индивидуальной системе по одной цепи передается электрическая энергия для усилителей одной системы уплотнения, размещенных на всех НУП, питаемых с данного ОУП. При групповой системе по одной цепи передается электрическая энергия для усилителей нескольких систем связи.

При индивидуальной системе можно включать и выключать любую систему уплотнения, подавая или снимая напряжение с соответствующей цепи.

Индивидуальная система не может применяться при передаче электрической энергии по схеме «провод—провод» на однокабельных магистралях (аппаратура «Кама» и ИКМ-12), а также на двухкабельных магистралях при организации цепей по средним

точкам двух пар жил (рис. 14.4*б*, аппаратура К-60П). Во всех остальных случаях применяется индивидуальная система ДП.

При организации ДП по схемам рис. 14.4*а, б* и *в* резервирование осуществляется от передвижных усилительных станций, что дает возможность увеличить длину секции по сравнению со сквоз-

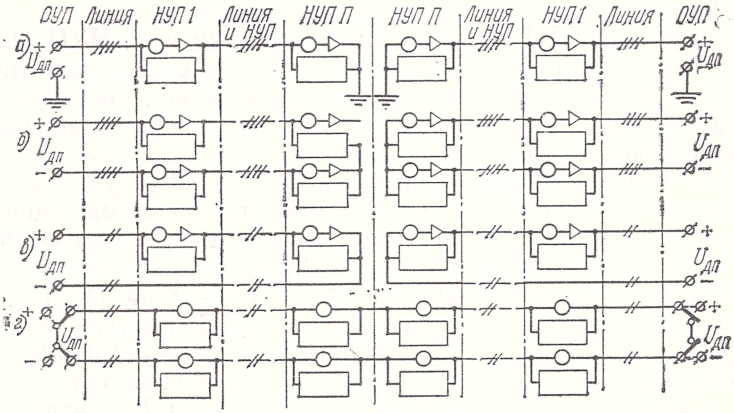
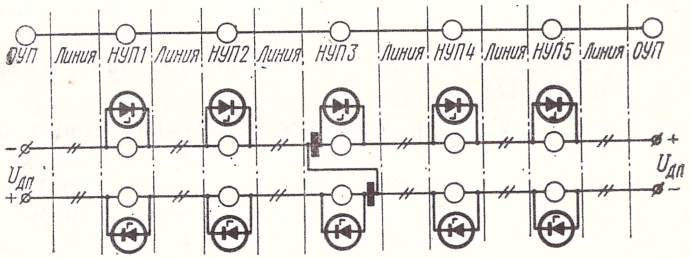


Рис. 14.4. Структурные схемы ДП транзисторной аппаратуры уплотнения симметричного кабеля (прямоугольник — БДП): *а*) с двух ОУП по схеме «провод—земля»; *б*) с двух ОУП по схеме «провод—провод»; *в*) с двух ОУП по схеме «провод—провод»; *г*) с одного ОУП по схеме «провод—провод».



○ – промежуточная трансляция (два усилителя)
▮ – усилитель АРУ

Рис. 14.5. Структурная схема организации ДП аппаратуры «Кама» при пяти НУП в секции

ным резервированием (рис. 14.4*г*). Сквозное резервирование применяется на однокабельных магистралях (аппаратура «Кама») только при одном НУП в секции.

Схема организации ДП на однокабельных магистралях, уплотняемых системой «Кама», при пяти НУП в секции показана на рис. 14.5. В этом случае с каждого ОУП обеспечивается ДП всей аппаратуры на двух НУП, а на среднем (третьем НУП) только половины аппаратуры. Напряжение питания усилителей стабилизируется параметрическими стабилизаторами (роль гасящего резистора выполняет участок линии цепи ДП).

14.4. ОБОРУДОВАНИЕ ОУП И НУП ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ СИММЕТРИЧНОГО КАБЕЛЯ

Основным оборудованием для ДП аппаратуры симметричного кабеля, устанавливаемой на ОУП или ОП, являются:

1. Устройства, обеспечивающие высокое напряжение постоянного тока для ДП аппаратуры НУП. Эти устройства представляют собой транзисторные преобразователи, собранные по двухтактной схеме с самовозбуждением. В транзисторной аппаратуре каждая цепь ДП подключается к индивидуальному преобразователю. В ламповой аппаратуре полупроводниковые преобразователи часто используются в качестве вольтодобавок совместно с выпрямительно-аккумуляторной установкой напряжением 220 В. Полупроводниковые преобразователи питаются от выпрямительно-аккумуляторных установок напряжением —24 В (в аппаратуре «Кама» от —60 В). Выходное напряжение стабилизируется угольными регуляторами, включенными на входе преобразователей.

В ламповой аппаратуре КРР 30/60 вместо преобразователей устанавливаются полупроводниковые выпрямители с двухзвенными *LC*-фильтрами (напряжение стабилизируется феррорезонансным стабилизатором).

2. Устройства передачи ДП, обеспечивающее автоматическое отключение цепи ДП при перегрузке по току на 20—30% от номинального значения и обрыве в цепи ДП, а также автоматическое включение резервного устройства, регулирование тока в цепи ДП при помощи гасящего резистора и аварийную сигнализацию. Это устройство также обеспечивает возможность изменения полярности напряжения ДП, что необходимо для нахождения участка повреждения на магистрали. При ДП транзисторной аппаратуры устройство передачи ДП обычно совмещается с полупроводниковым преобразователем, т. е. выполняется на одной плате (панели) [18, 36, 37].

3. Устройства защиты цепей ДП от гальванического влияния посторонних ЭДС, возникающих под действием магнитных бурь и электрифицированных железных и городских дорог, работающих на постоянном токе. Эти устройства, называемые полупроводниковыми компенсаторами, представляют собой транзисторные стабилизаторы тока и применяются при передаче электрической энергии по схеме «провод—земля» во всех случаях, когда разность потенциалов между заземлениями ОУП и НУП не превышает 75 В (но более 15 В). Компенсатор типа ПК-70/0,3-2 состоит из четырех одинаковых последовательно соединенных блоков и рассчитан на компенсацию максимальной амплитуды посторонних ЭДС ±70 В при максимальном токе ДП 0,3 А. Компенсатор ПК-70/0,3-2 включается последовательно в каждую цепь ДП за устройством передачи ДП (рис. 14.6). Принцип работы стабилизаторов тока рассмотрен в гл. 8.

Основным оборудованием НУП являются платы приема ДП (блоки ДП), размещаемые на стойке линейных усилителей. В транзисторных системах уплотнения блоки ДП стабилизируют напряжения питания усилителей и устройств телемеханики, а также защищают их от больших разрядных токов конденсаторов защитных устройств ЗУ при коротком замыкании цепи ДП. В ламповых системах уплотнения блоки ДП обеспечивают подключение нагрузок, регулирование и контроль за током и напряжением ДП, а также автоматическое подключение нагрузки к резервным цепям ДП.

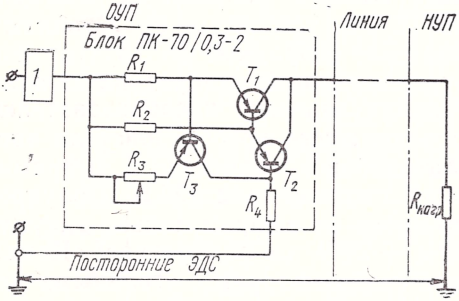


Рис. 14.6. Блок полупроводникового компенсатора и схема его включения в цепь ДП:
1 — устройство передачи ДП

При работе кабельной магистрали в цепи ДП на линии могут появиться продольные ЭДС промышленной частоты, наводимые высоковольтными линиями электропередачи. Возможны также влияния между отдельными высокочастотными цепями вследствие асимметрии их и линейных трансформаторов. Поэтому для защиты станционных устройств и кабеля от индуктированных напряжений переменного тока, а также для развязки между собой высокочастотных цепей на ОУП и НУП устанавливаются специальные защитные (ЗУ) и развязывающие устройства.

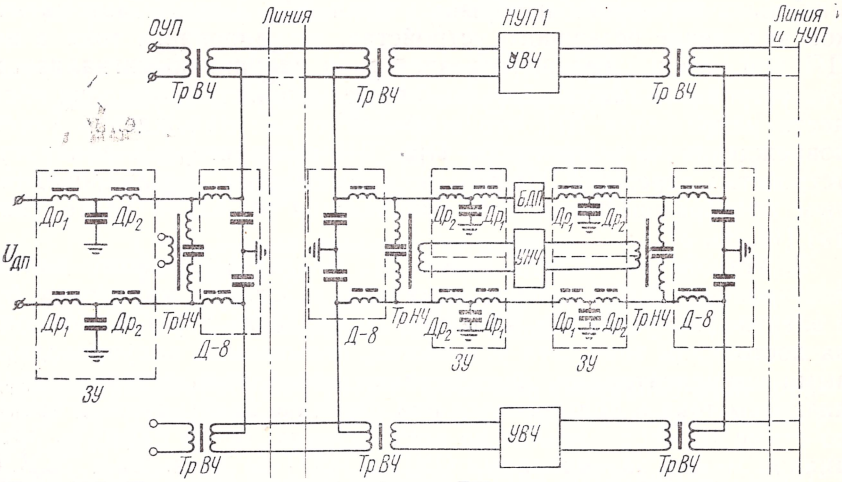


Рис. 14.7. Принципиальная схема цепи ДП на магистрали одночетверочного кабеля

Как видно из рис. 14.7, развязывающие устройства представляют собой Г-образные *LC*-фильтры, подключаемые к средним

точкам высокочастотных трансформаторов. Полоса пропускания фильтров Д-8 не должна быть ниже 8 кГц, так как фантомные цепи используются для организации каналов служебной связи. Оба полузвена фильтра подбираются попарно по затуханию асимметрии и устанавливаются в панели стойки вводно-кабельного оборудования на ОУП и НУП. На ОУП и каждом НУП в прямой и обратный провод (при передаче электрической энергии по схеме «провод—провод») цепи ДП включаются защитные устройства, представляющий собой Т-образные ФНЧ. В поперечное плечо Т-образного фильтра включается емкость или последовательный резонансный *LC*-контур, настроенный на частоту 50 Гц. В продольное плечо Т-образного фильтра включены два одинаковых дросселя, сердечники которых выполняются с немагнитным зазором.

Защитные устройства исключают возможность суммирования ЭДС, наводимых линиями электропередач и электрифицированными железными дорогами, на отдельных усилительных участках магистрали, так как для частоты 50 Гц разбивают цепь ДП на отдельные участки, длина которых равна длине усилительного участка. Защитные устройства также обеспечивают защиту аппаратуры ОУП и НУП от ЭДС, индуктируемых в жилах кабеля на длине усилительного участка магистрали. Кроме того, ЗУ необходимы для разделения низкочастотных сигналов и токов ДП, т. е. должны представлять собой большое сопротивление для низкочастотных сигналов.

Если вблизи магистрали нет линий высоковольтных передач и электрифицированных железных дорог, ЗУ выполняют в виде Г-образных фильтров, т. е. в каждом ЗУ на ОУП и НУП закорачиваются дроссели $Др_1$ (рис. 14.7). Это дает возможность уменьшить падение напряжения в цепи ДП, за счет чего можно увеличить число НУП в секции.

При организации цепи ДП по средним точкам пары жил кабеля (рис. 14.7) для предотвращения закорачивания цепи ДП между полуобмотками низкочастотного трансформатора $Тр_{нч}$ включается разделительный конденсатор.

Искровые разрядники защищают аппаратуру от грозовых разрядов. Разрядники подключаются параллельно станционным обмоткам высокочастотных и низкочастотных трансформаторов или между средними точками высокочастотных трансформаторов и землей.

14.5. ДИСТАНЦИОННОЕ ПИТАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОЙ АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ

В настоящее время на магистралях коаксиального кабеля все шире применяются транзисторные многоканальные системы уплотнения.

Для организации внутризоновой связи применяется однопарный коаксиальный кабель, уплотняемый двухполосной системой К-120. Многопарные коаксиальные кабели с парами малого диа-

метра уплотняются однокабельными однополосными системами связи К-300 и К-1920П. Для уплотнения многопарных коаксиальных кабелей с парами размером 2,5/9,4 мм применяется однокабельная однополосная система связи К-1920П.

Передача электрической энергии для питания транзисторной аппаратуры НУП систем уплотнения коаксиального кабеля осуществляется постоянным током высокого напряжения по схеме «провод—провод» (см. § 14.1).

В качестве прямого провода цепи ДП используется центральная жила одной коаксиальной пары, а в качестве обратного провода—трубка этой же коаксиальной пары (рис. 14.8*а*) или центральная жила другой коаксиальной пары (рис. 14.8*б*).

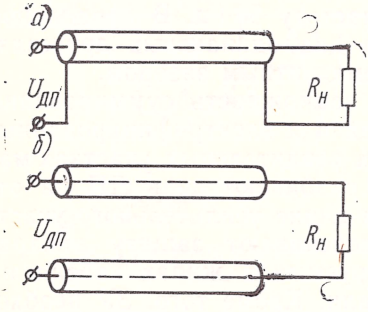


Рис. 14.8. Схема организации ДП способом:
а) «центральная жила—трубка»; *б*) «центральная жила—центральная жила»

В каждую цепь ДП включается последовательно аппаратура одного или обоих направлений передачи сигналов одной системы уплотнения всех НУП, питаемых с данного ОУП.

При организации цепи ДП по схеме реле 14.8*а* обеспечивается индивидуальное управление и защита каждого из симплексных трактов (при однополосной системе) системы связи. Это повышает гибкость и защищенность магистрали в целом, что особенно важно при использовании коаксиальных пар для передачи телевидения. Поэтому дистанционное питание аппаратуры К-1920П организуется по схеме рис. 14.8*а*. Недостатком этой схемы передачи электрической энергии является наличие потерь в обратном проводе, что уменьшает длину секции ДП.

При организации цепи ДП по схеме рис. 14.8*б* напряжение ДП может быть в два раза больше напряжения допустимого для схемы рис. 14.8*а*. Максимальное напряжение ДП, а следовательно, длина секции ограничивается электрической прочностью изоляции кабеля. Поэтому электрическая энергия для ДП аппаратуры систем связи, не предусматривающих использование многопарных коаксиальных кабелей для программ телевидения (К-300), передается по схеме рис. 14.8*б*.

Защита транзисторных усилителей на НУП от перенапряжений обеспечивается параметрическими или компенсационными стабилизаторами напряжения постоянного тока. Для уменьшения мощности, рассеиваемой стабилизаторами НУП, осуществляется централизованная стабилизация тока в цепи ДП.

В некоторых системах (К-120 и К-1920П) усиление усилителей НУП регулируется автоматически за счет изменения тока в цепи ДП.

Тракты передачи ДП и передачи сигналов связи разделяются фильтрами питания ФП.

Все коаксиальные пары используются для организации рабочих цепей ДП. Резервирование ДП осуществляется с противоположного ОУП секции (сквозное резервирование) или от передвижных усилительных станций.

Рассмотрим рис. 14.9. По одной цепи ДП осуществляется питание на каждом НУП двух усилителей одной системы связи. Мак-

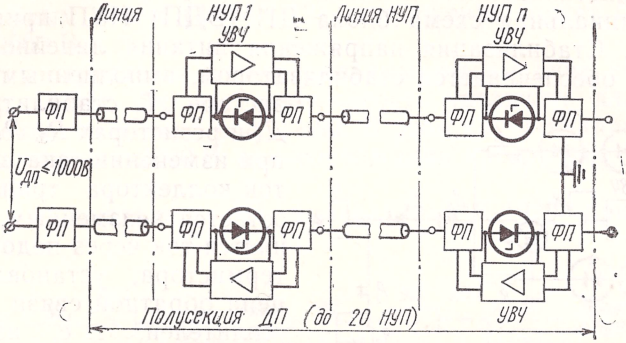


Рис. 14.9. Структурная схема организации ДП аппаратуры К-300

симальное число НУП в полусекции ДП равно 20, что соответствует длине секции — 240 км. Максимально допустимое напряжение ДП — 1000 В. Ток в цепи ДП — 0,035 А. Для выравнивания потенциалов прямого и обратного проводов цепи ДП по отношению к земле на последнем НУП полусекции ее средняя точка заземляется. Резервирование ДП осуществляется от передвижной усилительной станции ПУС-8. Защита усилителей НУП обеспечивается параметрическими стабилизаторами напряжения постоянного тока (роль гасящего резистора выполняет участок линии цепи ДП). Основным оборудованием ОУП для ДП является стойка дистанционного питания типа СДП К-300 и платы дистанционного питания усилителей служебной связи, устанавливаемые на стойке телемеханики СТДП [18, 19].

Структурная схема организации ДП аппаратуры НУП системы связи К-120 приведена на рис. 14.10. Дистанционное питание

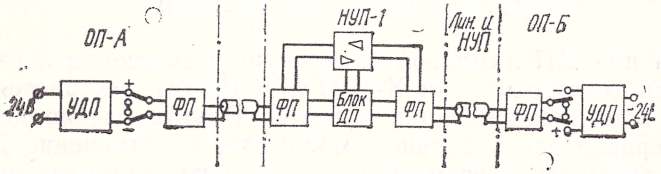


Рис. 14.10. Структурная схема организации ДП аппаратуры К-120

всех НУП секций может осуществляться с любого из оконечных пунктов и резервироваться с другого вручную или автоматически (сквозное резервирование). При этом максимальное напряжение,

подаваемое в линию, не превышает 500 В, а максимальное число НУП в секции ДП равно 19 при прокладке кабеля в земле или 14 при подвеске кабеля на опорах (длина усилительного участка равна 10 км). Стабилизация тока в цепи ДП, а также изменение его в пределах ±5 мА от номинального значения 0,075 А для регулирования усиления линейных усилителей обеспечивается устройством дистанционного питания УДП [19, 38].

Принципиальная схема блока ДП (БДП) НУП приведена на рис. 14.11. Стабилизация напряжения питания линейного усилителя НУП обеспечивается стабилизатором, выполненным на транзисторе T, стабилитронах $Д_3$, $Д_4$ и резисторах R_3, R_4. Так как при изменении тока в цепи ДП ток коллектора транзистора T остается неизменным, то изменяется ток через подогреватель термистора, установленного в цепи обратной связи линейных усилителей, т. е. изменяется усиление этих усилителей.

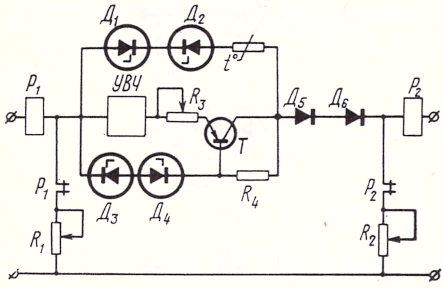


Рис. 14.11. Принципиальная схема блока ДП НУП аппаратуры К-120

В случае обрыва в цепи ДП через нормально замкнутые контакты реле P_1 и P_2 имеется возможность дистанционно питать все НУП с обоих ОП до места обрыва. Диоды $Д_5$, $Д_6$ защищают аппаратуру от токов обратной полярности.

Дистанционное питание аппаратуры НУП системы К-1920П (при числе НУП в секции не более 15) осуществляется так же, как в системе К-120. При числе НУП в секции более 15 (до 30) резервирование ДП осуществляется от передвижных усилительных станций. По каждой цепи ДП питается аппаратура, работающая по этой коаксиальной паре.

Дистанционное питание усилителей уплотнения сигнальных жил осуществляется по отдельным цепям, образуемым самими уплотняемыми парами (по схеме «провод—провод»).

14.6. ДИСТАНЦИОННОЕ ПИТАНИЕ АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ К-1920 (К-1920У)

Энергия для ДП ламповой аппаратуры уплотнения коаксиального кабеля (системы связи К-1920 и К-1920У) передается переменным током промышленной частоты. В этом случае передаче подлежат сравнительно большие мощности, а применение ДП переменным током дает возможность увеличить длину секции ДП за счет повышения напряжения на каждом НУП при помощи автотрансформаторов, т. е. уменьшить потери в линии цепи ДП. Кроме того, при ДП переменным током нити накала ламп усилителей на НУП можно соединять параллельно между собой, что не требует гасящих сопротивлений и подбора ламп, отсутствует

коррозия оболочки кабеля, а также отсутствует гальваническая связь между цепями высокого и низкого напряжений, что облегчает создание условий более безопасной работы на ОУП и НУП обслуживающего персонала.

Для коаксиальной пары размером 2,5/9,4 мм при содержании ее под воздушным давлением может быть допущено напряжение 1000 В (действующее значение). При наполнении кабеля высокомолекулярным газом (фреон 22) напряжение может быть увеличено до 2000 В.

Энергия передается по центральным жилам двух коаксильных пар (рис. 14.8*б*), что дает возможность увеличить длину секции по сравнению со схемой рис. 14.8*а*. В этом случае напряжение ДП может составлять 2000 В при содержании кабеля под воздушным давлением.

Схема организации ДП аппаратуры К-1920 приведена на рис. 14.12.

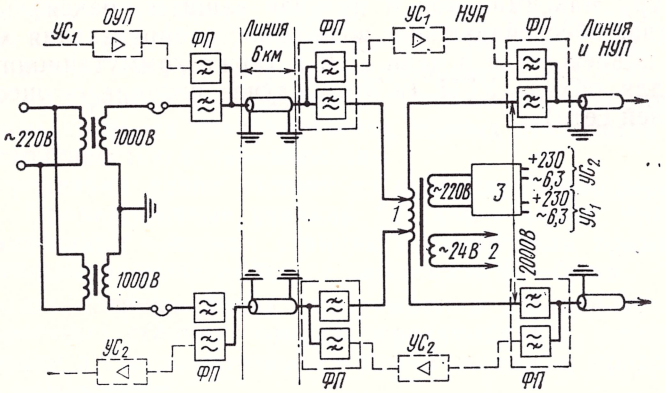


Рис. 14.12. Схема цепи ДП аппаратуры К-1920:

1 — повышающий автотрансформатор; *2* — вспомогательная нагрузка; *3* — стабилизатор и выпрямитель

На каждом НУП по одной цепи ДП питаются линейные усилители одной системы К-1920, усилители служебной связи, усилители системы уплотнения К-24К и вспомогательные нагрузки. Отбор мощности на НУП осуществляется по трансформаторной схеме от линейных автотрансформаторов, восстанавливающих напряжение в цепи ДП до 2000 В. Стабилизация напряжения на НУП обеспечивается феррорезонансным стабилизатором, включенным в цепь обмотки напряжением 220 В [2, 27].

Для выравнивания потенциалов центральных жил коаксиальных пар по отношению к земле на ОУП заземляется средняя точка высоковольтных трансформаторов.

Система К-1920У предназначена для уплотнения комбинированных кабелей, имеющих 2, 4, 6 и 8 коаксиальных пар диаметром 2,5/9,4 мм. Средняя мощность потребляемая из цепи ДП обо-

рудованием каждой системы уплотнения К-1920У несколько больше, чем системы К-1920 и составляет 310 Вт.

Оборудование электропитания НУП системы К-1920У отличается тем, что вместо феррорезонансных стабилизаторов напряжения в цепи питания усилителей применен тиристорный стабилизатор напряжения переменного тока компенсационного типа, нечувствительный к колебаниям частоты тока питания.

На ОУП высоковольтные трансформаторы подключаются к устройствам гарантированного питания переменным током через трансформаторы Скотта (при применении трехмашинных агрегатов) или непосредственно (при применении однофазных тиристорных инверторов).

Высоковольтные трансформаторы устанавливаются на ОУП в шкафах дистанционного питания ЩДП.

Оборудование ЭПУ ОУП системы К-1920У отличается от К-1920 только тем, что вместо ЩДП-5 устанавливается ЩДП-7. Этот шкаф, кроме высоковольтных трансформаторов, содержит аппаратуру максимальной и нулевой защиты коаксиальных пар, устройства, обеспечивающие возможность определения характера и места повреждения в цепи ДП, а также коммутационную аппаратуру для обхода УГП (в этом случае питание осуществляется от внешней сети).

Электроустановки радиорелейных линий

15.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Радиорелейные линии работают в диапазоне ультракоротких волн. В диапазоне УКВ полосу пропускания радиопередающих и радиоприемных устройств можно сделать очень широкой, что позволяет передавать по линии связи сообщения, занимающие широкую полосу частот, например, одновременно передавать сотни и тысячи телефонных разговоров или телевизионную программу. Кроме того, связь на ультракоротких волнах отличается высокой помехоустойчивостью и надежностью.

Радиорелейная линия состоит из цепочки приемо-передающих станций. Промежуточные станции устанавливаются так, чтобы между антеннами соседних станций существовала прямая видимость. Станции располагаются на расстоянии 40—60 км.

На радиорелейных линиях сооружаются станции трех типов:

— оконечные станции, откуда передаются все сообщения в одну сторону и где заканчивается прием сигналов, приходящих с другого направления;

— промежуточные станции, на которых усиливается приходящий сигнал без демодуляции (исключая телевидение и программы радиовещания);

— узловые станции, на которых можно выделять и вводить новые каналы связи.

Трасса РРЛ выбирается так, чтобы оконечные и узловые станции были расположены в городах. Как правило, эти станции получают электроэнергию от внешних источников. Промежуточные станции могут располагаться в местах, где нет внешних источников электроэнергии; в этих случаях они работают от собственных электростанций.

В период создания первых РРЛ допускались перерывы в подаче электроэнергии длительностью в 0,6 и 4 с при условии, что они достаточно редки.

В настоящее время требования к бесперебойной работе РРЛ возросли, особенно в связи с передачей по РРЛ сигналов тонального телеграфа, для которого перерывы в 0,15—0,6 с недопустимы.

Опыт работы РРЛ показал, что станций, не имеющих перерывов в подаче питания, не существует. Даже при питании от мощных энергосистем перерывы в подаче электроэнергии возможны.

В связи с этим, в настоящее время, почти все станции РРЛ оборудованы резервными электростанциями, состоящими из двух дизель-генераторных установок. Обе дизель-генераторные установки при пропадании напряжения во внешней сети запускаются одновременно. Питание станции примет на себя та установка, запуск которой завершается раньше, а другая автоматически отключается.

В настоящее время обратимые машины и мотор-генераторы на станциях РРЛ не применяются. Наиболее широко применяются агрегаты с маховиками. Применение таких агрегатов позволило упростить эксплуатацию станции, так как в этом случае не требуются аккумуляторные батареи напряжением 220 В значительной емкости. На каждой станции на один полукомплект аппаратуры устанавливается два агрегата с маховиками — рабочий и резервный.

Маховики агрегатов обладают значительной массой и за счет его энергии сглаживаются скачки напряжения, которые неизбежны в промышленных сетях. Таким образом, применение резервных дизель-генераторов и агрегатов с маховиками позволило исключить перерывы в работе станции при пропадании напряжения во внешней сети. Создана аппаратура, предназначенная для работы со сдвоенным, пространственно разнесенным приемом при параллельной работе передатчиков на одной частоте. Для реализации преимуществ сдвоенного приема полукомплекты оборудования питаются от двух независимых источников.

Электроустановки магистральных РРЛ строятся с применением автоматизированных дизель-генераторов ДГА-М, резервирующих внешнюю сеть, и агрегатов гарантированного питания с инерционным маховиком типов АГМ-7,5; АГМП-7,5 и АГМ-20. Установка агрегатов позволяет обеспечивать бесперебойность питания аппаратуры, поддерживать необходимую стабильность напряжения и полностью оградить аппаратуру от колебаний и скачков напряжения сети.

15.2. ЭЛЕКТРОУСТАНОВКА РРЛ

Принципиальная схема электроустановок радиорелейной станции определяется типом и мощностью устанавливаемой аппаратуры и наличием или отсутствием внешнего источника электроснабжения.

Для увеличения надежности электроснабжения узловые станции РРЛ проектируются с питанием от внешней сети и от собственной электростанции, оборудованной автоматизированными дизель-генераторами.

Питание от внешней сети может быть получено по одной или двум ЛЭП, что зависит от расположения станции. Если подводится энергия высокого напряжения, то на территории станции должна быть трансформаторная подстанция.

Основные потребители станции, относящиеся в части обеспечения надежности электроснабжения к категории 1, подразделяются на потребителей категории 1а и 1б.

Потребители категории 1а, к которой относится основная аппаратура станции, не допускают перерывов в питании. Кроме того, стабильность питающего напряжения для них должна находиться в пределах $\pm 2\%$ от номинального значения.

Потребители категории 1б допускают перерыв в питании на время, не превышающее 30 с, т. е. на время запуска и принятия нагрузки автоматизированным дизель-генератором. К таким потребителям относятся электродвигатели вентиляторов, электроприводы заслонок, освещение, электродвигатели котельной.

Прочие потребители станции, как-то: подогрев заслонок, электродвигатели стоянки машин и т. д. относятся к потребителям третьей категории.

На рис. 15.1 приведена схема электропитания узловой радиорелейной станции с внешним источником электроснабжения.

Принципиальная схема электропитания станции выполнена для случая питания по двум рабочим вводам.

В нормальном режиме аппаратура подсоединена к двум рабочим агрегатам гарантированного питания АГПМ-7,5. Один полукомплект аппаратуры питается от АГПМ-7,5 № 2, а второй полукомплект — от АГПМ-7,5 № 3.

Если внешнее напряжение исчезает или понижается на 15% и более от номинального значения, контактор КТВ отключает сеть, контакторы K_1 отключают питание двигателей агрегатов АГПМ-7,5, а дизель-генераторы получают импульс на запуск. Подача импульса на включение одновременно всех дизель-генераторов гарантирует их запуск. До запуска резервных дизель-генераторов аппаратура питается от агрегатов АГПМ-7,5 за счет инерции их маховиков. При этом число оборотов агрегатов гарантированного питания и частота тока генераторов постепенно падают. Затем вводится в действие и принимает на себя нагрузку дизель-генератор № 3. Он подключается контактором КТ. Если дизель-генератор № 3 не запустился, нагрузку принимают дизель-генераторы № 1 и № 2, которые работают на раздельные шины.

Контакторы K_1 агрегатов замыкаются, и обороты двигателей вновь возрастают до номинального значения. Реализуется так называемый режим «догона». В этом режиме возрастает потребляемый двигателем ток, ограничение которого предусматривается схемой щита ЩАГПМ-7,5.

В случае аварии рабочего агрегата АГПМ-7,5 получает импульс на запуск резервный агрегат, а агрегат, вышедший из строя, отключается. Контакторы K_6 рабочего и резервного агрегатов

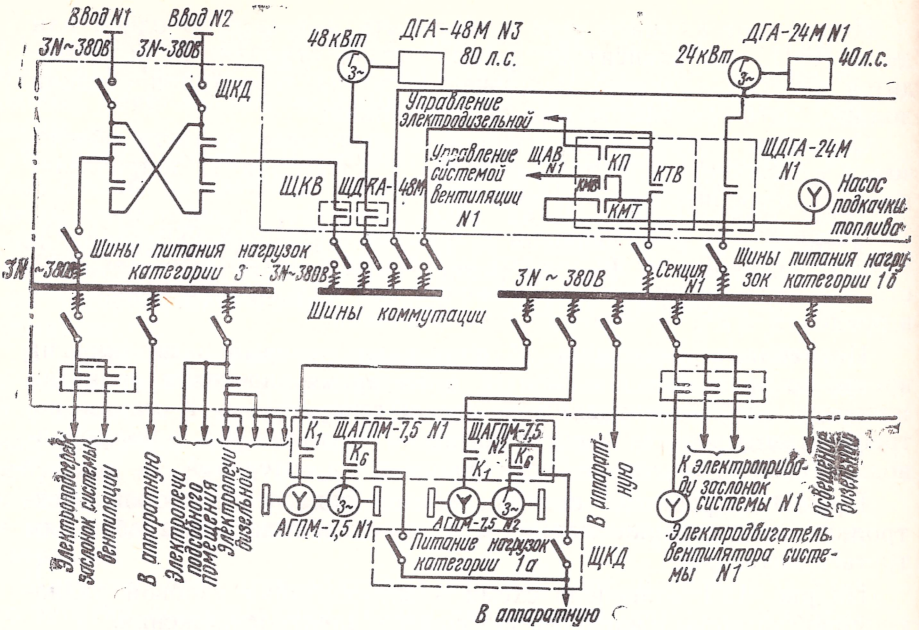


Рис. 15.1. Структурная

имеют взаимную блокировку, предотвращая возможность их параллельной работы.

Продолжительность первоначального разгона агрегата до номинальных оборотов составляет 15—18 мин. В это время аппаратура переключается на питание от шин переменного тока через стабилизаторы напряжения.

Если мощность аппаратуры не превышает 7,5 кВт, например, на промежуточных станциях, то питание может осуществляться по одному фидеру. В этом случае дизель-генератор № 3, агрегаты АГПМ-7,5, № 2, № 4 не устанавливаются, а шины питания нагрузок категории 1б (секций № 1 и № 2) соединяются перемычкой.

При отсутствии на станции внешнего источника он заменяется дизель-генератором.

При применении установок гарантированного питания любого типа предусматривается автоматизация основных и вспомогательных процессов.

Для автоматического включения и выключения фидеров от внешних источников используются щиты контактора ввода ЩКВ. Щит предусматривает отключение внешней сети при понижении напряжения на 15% от номинального значения. Одновременно с отключением внешней сети, автоматикой щита предусмотрена выдача сигналов на запуск дизель-генераторов.

Операции автоматического управления выполняются с помощью щита ЩАВ.

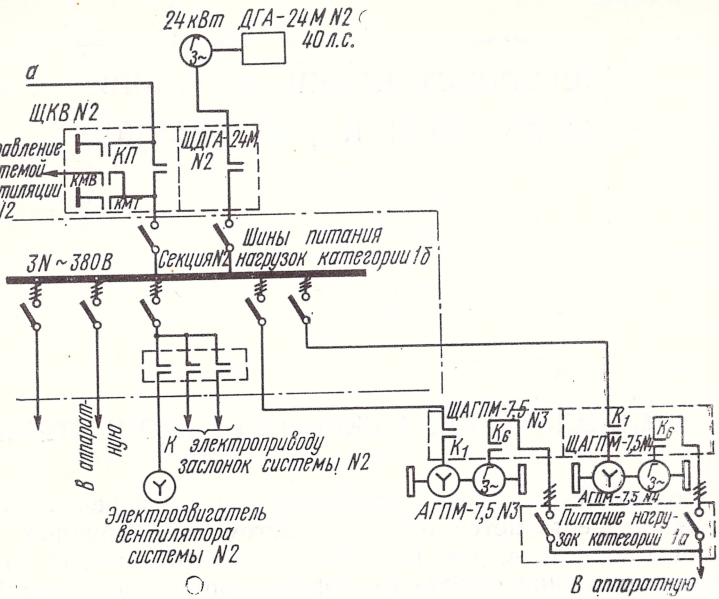


схема ЭПУ РРЛ

Автоматика щита предусматривает: телеуправление контактором КТВ; препятствует одновременному включению двух источников на сборные шины; предусматривает отключение контактора КТВ при исчезновении напряжения на вводе или значительном отклонении его от номинального значения, одновременно посылая сигнал на запуск дизель-генератора.

Приборы щита автоматики контролируют и регулируют температуру в помещении станции, управляют системой вентиляции, контролируют уровень топлива и регистрируют количество включений и время работы установок гарантированного питания и внешних источников.

Электроустановки предприятий радиосвязи и радиовещания

16.1. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ РАДИОЦЕНТРОВ

В большинстве случаев электроснабжение передающих радиоцентров осуществляется от энергосистем или крупных электростанций. Рассмотрим рис. 16.1. Высокое напряжение (6 или 10 кВ) поступает на понижающую трансформаторную подстанцию радиоцентра по высоковольтному кабелю. Этот кабель подключается к другой понижающей трансформаторной подстанции, которая подключена к линии электропередачи высокого напряжения 35 или 110 кВ. Для бесперебойной работы электроснабжение радиоцентра осуществляется от двух независимых источников электроэнергии (см. гл. 11).

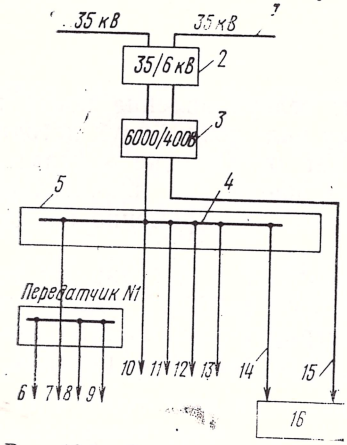


Рис. 16.1. Схема электроснабжения передающего радиоцентра:

1 — линия электропередачи; *2* — понижающая трансформаторная подстанция; *3* — подстанция технического радиоцентра; *4* — шины низкого напряжения 400 В; *5* — распределительный щит; *6* — накал; *7* — к выпрямителю смещения; *8* — к выпрямителю экранирующей сетки; *9* — к выпрямителю анодного питания; *10* — к передатчику № 2; *11* — к передатчику № 3; *12* — в насосную; *13* — освещение; *14* — питание цепей низкого напряжения; *15* — питание анодов мощных ламп; *16* — мощный передатчик

На подстанции радиоцентра высокое напряжение (6 или 10 кВ) трансформируется в низкое (400/230 В). Низкое напряжение поступает на силовой распределительный щит радиоцентра, а затем на отдельные устройства.

Анодные цепи мощных передатчиков питаются от силового распределительного щита напряжением 380/220 В. Однако при достаточно больших мощностях передатчиков их целесообразно питать непосредственно с шин высокого напряжения (6 или 10 кВ). Это объясняется тем, что мощные выпрямители выходных каскадов потребляют около 65—75% всей мощности передатчика и исключение двойной трансформации напряжения позволяет значитель-

но сократить потери энергии и упростить схему электроснабжения передающего радиоцентра.

При большом количестве передатчиков такая автономная схема электропитания усложняет оборудование. На радиоцентре, где имеется большое количество однотипных передатчиков, может применяться схема централизованного питания. При централизованном питании передатчики одного типа питаются от общего мощного выпрямителя. Схема централизованного питания является более простой и экономичной. К недостаткам централизованного питания следует отнести: наличие гальванической связи между передатчиками через источник питания и необходимость прокладки распределительных сетей постоянного тока с малыми потерями напряжения.

В настоящее время большинство передатчиков имеют автономное питание. Электропитающее устройство передатчика состоит из высоковольтного выпрямителя для питания мощных ламп; выпрямителей для питания анодных цепей маломощных ступеней передатчика и цепей экранирующих сеток; выпрямителей сеточного смещения и трансформаторов накала.

16.2. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ МОЩНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ И ИХ ЗАЩИТА

Для питания мощных ступеней передатчиков применяются многофазные регулируемые выпрямители. В большинстве случаев регулирование осуществляется в самом выпрямителе за счет изменения угла регулирования управляемого вентиля. В качестве вентилей в управляемых выпрямителях применяются тиратроны и тиристоры.

Мощные управляемые выпрямители работают в основном на фильтр, начинающийся с индуктивности. Среднее значение выходного напряжения определяется величиной угла регулирования вентиля α и для индуктивной нагрузки

$$U_0 = \frac{m}{\pi} U_{2m} \sin \frac{\pi}{m} \cos \alpha.$$

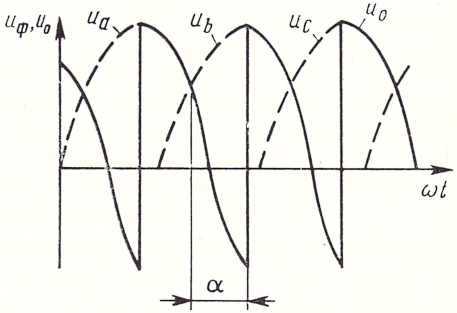


Рис. 16.2. Изменение напряжения управляемого выпрямителя, работающего на индуктивную нагрузку

Кривая изменения напряжения для случая индуктивной нагрузки изображена на рис. 16.2.

Вентили в регулируемых выпрямителях управляются положительными импульсами с большой крутизной фронта. Импульсы формируются пик-трансформатором или электронной схемой управления.

На сетки тиратронов (рис. 16.3) от специального выпрямителя смещения через вторичные обмотки пик-трансформаторов поступает отрицательное напряжение, необходимое для их надежного запирания. Напряжение на первичные обмотки пик-трансформатора поступает от фазовращателя. При возникновении положительного импульса во вторичной обмотке пик-трансформатора зажигается тиратрон. Импульсы во вторичных обмотках пик-трансформатора сдвинуты друг относительно друга на 120°. Фаза импульсов изменяется фазовращателем. Изменение фазы импульсов пик-трансформатора приведет к изменению момента зажигания тиратрона и среднее значение выходного напряжения выпрямителя изменяется.

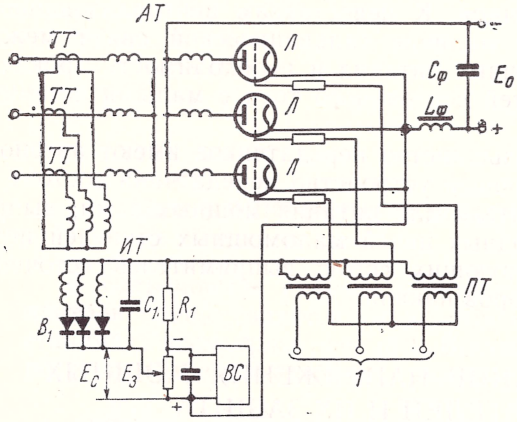


Рис. 16.3. Схема управления трехфазным тиратронным выпрямителем:
1 — от фазорегулятора

Одной из наиболее частых аварий в мощных передатчиках бывает «газовый пробой» в лампах. При внезапном выделении газа в лампе напряжение на ней с нескольких тысяч вольт падает до нескольких десятков вольт. При этом ток в анодной цепи может возрасти в десятки и даже сотни раз. Это может привести к перегреву электродов и выделению дополнительно большого количества газа. Лампа в этом случае выходит из строя. Для ограничения тока короткого замыкания в анодные цепи мощных ламп включаются «антигазовые сопротивления». Величина его согласно указаниям заводов-изготовителей ламп, должна быть такой, чтобы при пробое ток не превосходил 6—8-кратного значения максимального импульса анодного тока при номинальной работе в режиме усиления мощности класса С. В этих сопротивлениях тратится мощность порядка 5% от мощности, подводимой к лампам, и, кроме того, они повышают коэффициент нелинейных искажений в радиовещательных передатчиках. Однако ставить их приходится, иначе лампы часто выходят из строя. Изъять эти сопротивления можно только при применении быстродействующей электронно-импульсной системы защиты.

Другой вид частых аварий — это обратное зажигание в одном из вентилей. В этом случае вентиль начинает проводить ток в обе стороны, а это эквивалентно полному короткому замыканию трансформатора. При этом установившийся ток короткого замыкания может превосходить в 15—20 раз номинальный ток. Для умень-

шения тока короткого замыкания в первичную цепь трансформатора включаются ограничительные (активные или реактивные) сопротивления.

Маломощные выпрямительные установки, в которых ток короткого замыкания невелик, защищают от коротких замыканий, обратных зажиганий в вентилях и других аварий при помощи предохранителей с плавкими вставками.

Во всех мощных выпрямительных установках защита осуществляется с отключением по цепям переменного тока. Принцип действия быстродействующей защиты основан на запирании управляемых вентилей выпрямителя. На рис. 16.3 изображена схема быстродействующей защиты тиратронного выпрямителя. До тех пор, пока ток в первичной обмотке трансформатора АТ не превышает номинального, напряжение, развиваемое на вторичных обмотках трансформаторов тока ТТ, а следовательно, трансформатора ИТ, невелико, и ток через вентили B_1 не идет, так как в их цепь включена навстречу часть напряжения выпрямителя ВС, равная E_3.

При аварии или перегрузке выпрямителя напряжение на вторичных обмотках трансформаторов тока ТТ увеличивается, и через вентили B_1 заряжается конденсатор C_1. Это напряжение суммируется с напряжением смещения E_c. При этом отрицательное напряжение на сетках тиратронов превышает напряжение пик-трансформаторов, и тиратроны полностью запираются. Напряжение выпрямителя E_0 падает до нуля, и ток через нагрузку прекращается. Через некоторое время конденсатор C_1 разрядится через сопротивление R_1 и выпрямитель снова включится. Если причина броска тока за это время самоустранилась (например, случайный пробой при перемодуляции или небольшое выделение газа в лампе), то после включения выпрямитель будет продолжать работать. Если же короткое замыкание осталось, то после включения произойдет новое отключение и т. д. Обычно в схему добавляются специальные реле, которые после двух-трех срабатываний сеточной защиты отключают выпрямитель.

Время срабатывания этой схемы зависит, в первую очередь, от скорости нарастания тока в первичной обмотке, которая определяется скоростью нарастания выпрямленного тока. Чем больше индуктивность дросселя фильтра, тем медленнее будет нарастать выпрямленный ток и позднее включится выпрямитель. Кроме того, момент запирания тиратронов зависит от скорости заряда емкости C_1. Чем меньше будет сопротивление вентилей B_1 и меньше емкость C_1, тем меньше время заряда.

Однако значительно уменьшать емкость C_1 нельзя так, как при этом уменьшается время заряда конденсатора (он разряжается через сопротивление R_1 и за счет обратного тока через вентили B_1). При этом происходит слишком быстрое повторное включение выпрямителя. Емкость конденсатора обычно берется порядка микрофарады.

16.3. ПИТАНИЕ ЦЕПЕЙ НАКАЛОВ И СЕТОК ЛАМП В ПЕРЕДАТЧИКАХ

К источникам питания накала ламп предъявляются следующие основные требования: постоянство напряжения, минимальная величина фона, обеспечение допустимого пускового тока.

Питание накала (рис. 16.4) в настоящее время осуществляется как от источников переменного тока через накальные трансформаторы, так и от источников постоянного тока.

При питании от сети переменного тока с частотой 50 Гц возникает паразитная модуляция фоном с частотой 50 и 100 Гц. Па-

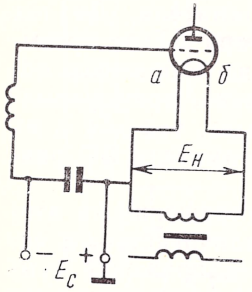


Рис. 16.4. Схема питания накала ламп переменным током

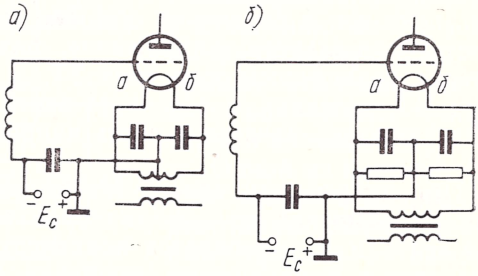


Рис. 16.5. Схемы питания накала ламп переменным током

разитная модуляция с частотой 50 Гц возникает вследствие того, что при соединении нити накала, показанном на рис. 16.4, между концом нити накала *б* и сеткой возникает переменное напряжение, равное напряжению накала.

Этот вид фона можно значительно ослабить применением так называемых «средних точек» накала. Среднюю точку можно получить выводом средней точки накальной обмотки (рис. 16.5*а*) или создать искусственно при помощи двух сопротивлений (рис. 16.5*б*).

В этом случае, в тот момент, когда потенциал катода *а* (рис. 16.5*а*) относительно земли равен $-E_н/2$, потенциал конца *б* равен $\pm E_н/2$. Средний потенциал катода всегда равен нулю, и фон с частотой 50 Гц отсутствует. Для пропускания переменной составляющей анодного тока концы нити блокируют на землю конденсаторами такой емкости, чтобы сопротивление конденсаторов для усиливаемых частот было меньше сопротивлений для вывода средней точки, иначе возникнет отрицательная обратная связь. Сопротивление средней точки выбирают из соображения наименьших потерь энергии в нем и, следовательно, наименьших его размеров.

Паразитная модуляция с частотой 100 Гц при питании от сети 50 Гц возникает под влиянием различных факторов. Основные из них: недостаточная тепловая инерция катода в лампах с тонкими нитями; возникновение сильного магнитного поля (особенно в мощ-

ных лампах), удлиняющего путь электронов, летящих от катода (магнетронный эффект, механические вибрации катода, особенно заметные в мощных лампах).

Для ослабления этой паразитной модуляции в современных передатчиках накалы генераторных ламп, работающих параллельно (или в двухтактной схеме), питают переменным током разных фаз. Частота паразитной модуляции при этом увеличивается, а глубина уменьшается.

Если включить две лампы с фазами напряжения накала, сдвинутыми на 90°, то основная слагающая паразитного фона будет иметь частоту 200 Гц, а глубина его уменьшится примерно в два раза. При включении трех ламп, сдвинутых на 120° по фазе, основная частота паразитной модуляции будет равна 300 Гц, а глубина ее уменьшается приблизительно в шесть раз.

Аналогичный результат можно получить, применяя лампы с трехфазным катодом, питаемым трехфазным переменным током. В этом случае величина фона будет еще меньше за счет ослабления магнетронного эффекта. В маломощных передатчиках применяют лампы с подогревным катодом; в мощных же лампах подогревный катод применяется редко.

Для преобразования трехфазного переменного тока в двухфазный, необходимый для питания четного количества ламп с однофазными катодами, наибольшее распространение получила схема Скотта. В ступени усилителя высокой частоты все сетки и аноды по низкой частоте соединены параллельно. Поэтому в отношении модулирующего фона нет разницы между параллельным и двухтактным включением ламп. Катоды противоположных плеч двухтактного генератора могут питаться со сдвигом фаз 90°.

В усилителях же низкой частоты и модуляторах сдвиг фаз между напряжением накала нужен только для ламп, работающих параллельно или в одном из плеч двухтактной схемы. Катоды противоположных плеч двухтактного усилителя низкой частоты, в отличие от усилителя высокой частоты, должны питаться токами одинаковых фаз. Тогда пульсации источника питания создают в обоих плечах схемы пульсирующие токи, имеющие одинаковые фазы. Эти токи создают в обеих половинах анодного трансформатора взаимно уничтожающиеся переменные магнитные поля. При полной симметрии плеч во вторичной обмотке отсутствуют напряжения, возникающие в результате пульсаций источников питания.

Сдвиг фаз между напряжениями накала в противоположных плечах двухтактного усилителя низкой частоты уничтожил бы вышеуказанное преимущество его и привел бы не к ослаблению, а к увеличению фона.

Для уменьшения пусковых токов применяются трансформаторы накала с повышенной индуктивностью рассеяния.

Для обеспечения требуемого отношения пускового тока к рабочему (порядка 1,5) индуктивное сопротивление рассеяния L_S должно быть равно сопротивлению нити лампы в горячем состоянии. Так как ЭДС вторичной обмотки трансформатора связана

с падением напряжения нити $U_н$ и величиной U_x соотношением

$$E_2^2 = U_н^2 - U_x^2 = (I_н R_н)^2 + (I_н \omega L_S)^2,$$

то при $\omega L_S = R_н$ $E_2 = \sqrt{2}\, U_н$.

Если пренебречь сопротивлением нити накала в холодном состоянии, то при включении ток будет в $\sqrt{2}$ раза больше номинального.

Очевидно, что индуктивность L_S можно не создавать в самом трансформаторе, а включить в цепь накала в виде отдельной катушки.

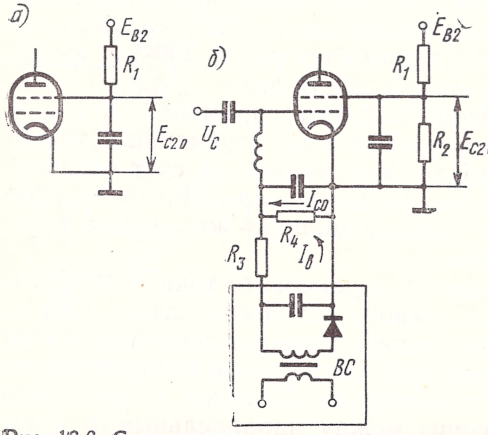


Рис. 16.6. Схемы питания цепей экранирующих сеток

Кроме цепи анода, постоянное напряжение подается на экранирующие и управляющие сетки ламп.

На экранирующие сетки должно подаваться положительное напряжение. В маломощных пентодах это напряжение имеет величину, близкую к напряжению анода, и в большинстве случаев подается от источника анодного питания. У мощных пентодов разница в напряжениях на аноде и экранирующей сетке велика и экономически выгоднее питать сетки от отдельного выпрямителя. Питание сети может производиться через гасящее сопротивление R_1 (рис. 16.6*а*) или через делитель (рис. 16.6*б*).

16.4. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРИЕМНЫХ РАДИОЦЕНТРОВ И РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

Основным источником электрической энергии приемных радиоцентров и радиовещательных узлов является энергетическая система. Так как мощность, потребляемая приемным радиоцентром, составляет несколько десятков киловатт, то электроснабжение осуществляется от посторонней трансформаторной подстанции с шин 400/230 В.

Электропитание приемников может осуществляться через собственные выпрямительные устройства, устанавливаемые в стойках аппаратуры или от ЭПУ. Резервирование внешнего электроснабжения осуществляется от собственной автоматизированной дизель-генераторной электростанции.

Однако при переходе с источника внешнего электроснабжения на резервную электростанцию перерыв в электроснабжении состав-

ляет не менее 20—30 с. Для исключения перерывов в электропитании аппаратуры применяются УГП переменным током.

В качестве источника энергии этих УГП применяются кислотные аккумуляторы. Кислотные аккумуляторы эксплуатируются в режиме непрерывного подзаряда.

16.5. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ РАДИОТРАНСЛЯЦИОННЫХ УЗЛОВ

Мощные радиоузлы в городах в большинстве случаев получают электропитание от городской сети переменного тока и лишь иногда для бесперебойной работы требуют наличия резервных автономных электростанций.

В больших городах к радиоузлам могут быть подведены два питающих фидера от двух различных трансформаторных подстанций.

При крупных радиоузлах оборудуются собственные трансформаторные подстанции.

В сельских местностях в настоящее время применяются транзисторные автоматизированные радиоузлы. Так, промышленностью разработано транзисторное устройство проводного вещания ТУПВ-0,25×2 общей выходной мощностью 500 Вт, предназначенное для радиофикации сельских населенных пунктов. Эта аппаратура применяется вместо ламповой (ТУ-100, ТУ-600) на всех радиоузлах с нагрузкой до 1500 радиоточек.

Аппаратура ТУПВ (рис. 16.7) питается от сети переменного тока напряжением 220 В. Напряжение сети стабилизируется феррорезонансным стабилизатором *1* типа С-0,75, выпрямляется выпрямителем *2*, стабилизируется транзисторным стабилизатором *3*. Постоянное стабилизированное напряжение — 24 В поступает для питания аппаратуры. Резервным источником является аккумуляторная батарея *4*, которая работает в буферном режиме и состоит из пяти аккумуляторов типа 5ЖН-60. При отсутствии напряжения сети аппаратура может работать от аккумуляторной батареи в течении двух-трех суток без ухудшения качественных показателей.

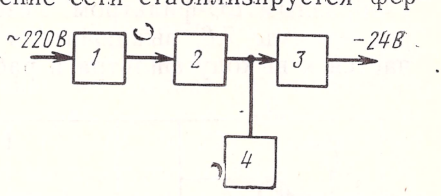


Рис. 16.7. Структурная схема ЭПУ ТУПВ

На рис. 16.8 представлена принципиальная электрическая схема блока выпрямителя. Напряжение сети 220 В поступает на клеммы *1, 2*, затем через выключатель B_1, предохранители $Пр_1$, $Пр_2$, клеммы *3, 4* поступает на феррорезонансный стабилизатор напряжения типа С-0,75. Феррорезонансный стабилизатор стабилизирует напряжение сети, так как оно может изменяться в значительных пределах (от 160 до 260 В).

Стабилизированное напряжение с выхода феррорезонансного стабилизатора поступает вновь в блок выпрямителя (клеммы *5,6*) на первичную обмотку силового трансформатора *Тр*. Основной вы-

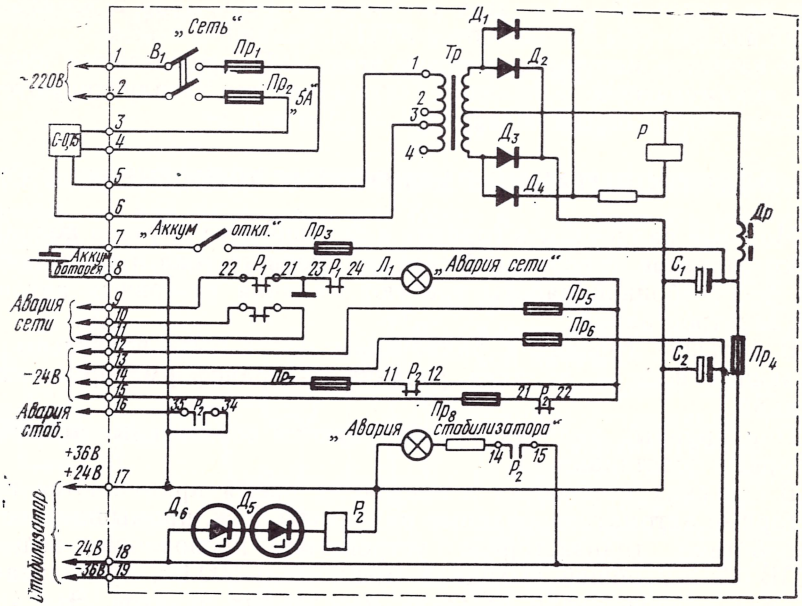


Рис. 16.8. Схема выпрямителя ТУПВ

прямитель блока собран по двухполупериодной схеме со средней точкой (диоды $Д_2$, $Д_3$). Выпрямленное напряжение фильтруется Г-образным LC-фильтром. Резервная аккумуляторная батарея через клеммы 7,8, выключатель $В_2$ и предохранитель $Пр_3$ подключается к выходу фильтра и работает в режиме непрерывного подзаряда. Включение аккумуляторной батареи на выход фильтра позволяет значительно уменьшить пульсацию выпрямленного напряжения. Из-за разряда и заряда аккумуляторной батареи напряжение на выходе фильтра может изменяться в широких пределах (от 27 В при разряде до 43 В при заряде). Для уменьшения влияния изменений выпрямленного напряжения на работу аппаратуры в электропитающую установку введен транзисторный стабилизатор постоянного напряжения. Транзисторный стабилизатор (рис. 16.9) выполнен в виде отдельного блока, который питается от блока выпрямителя.

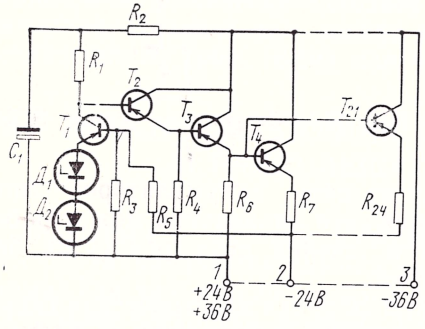


Рис. 16.9. Схема стабилизатора ТУПВ

Стабилизатор состоит из регулирующего элемента, в который входят 18 параллельно включенных транзисторов $Т_4$—$Т_{21}$, а также транзисторы $Т_2$, $Т_3$, усилитель постоянного тока $Т_1$, источника эталонного напряжения (стабилитроны $Д_1$, $Д_2$) и делителя напряже-

ния R_3R_5. В цепи эмиттеров транзисторов T_4—T_{21} включены балластные резисторы R_7—R_{24} для выравнивания их токов.

Напряжение питания 36 В поступает на вход стабилизатора (клеммы *1, 3*) от блока выпрямителя (клеммы *17, 19*). Выходное напряжение стабилизатора (24 В) снимается с клемм *2, 3* и вновь поступает в блок выпрямителя (клеммы *17, 18*). При изменении напряжения на входе стабилизатора (например, увеличении) в первый момент возрастает его выходное напряжение. Увеличение выходного напряжения приводит к увеличению напряжения на резисторе R_3, что, в свою очередь, вызывает увеличение отрицательного потенциала на базе транзистора T_1. Токи базы и коллектора транзистора T_1 возрастают, а токи базы транзисторов T_2, T_3, T_4, T_{21} уменьшаются. Уменьшение токов базы транзисторов T_4, T_{21} приводит к увеличению напряжения коллектор—эмиттер этих транзисторов, и выходное напряжение стабилизатора уменьшается до первоначальной величины. Выходное напряжение стабилизатора вновь поступает в блок выпрямителя (клеммы *17, 18*), а затем через предохранители $Пр_5$, $Пр_8$, нормально замкнутые контакты реле P_2 и клеммы *12—15* — на аппаратуру ТУПВ.

В блоке выпрямителя предусмотрена схема защиты, которая срабатывает при перенапряжениях на выходе стабилизатора.

В нормальном режиме работы напряжение на выходе стабилизатора равно 24 В. При пробое транзисторов T_4, T_{21} выходное напряжение стабилизатора может увеличиться свыше 30 В.

Для защиты аппаратуры от перенапряжения в схеме предусмотрено реле P_2, обмотка которого включена последовательно со стабилитронами $Д_5$, $Д_6$. При нормальном напряжении на выходе стабилизатора напряжение на обмотке реле P_2 мало. В случае пробоя транзисторов T_4, T_{21}, напряжение на выходе стабилизатора резко увеличивается, что вызывает срабатывание реле P_2. Нормально замкнутые контакты реле P_2 *(11, 12, 21, 22)* размыкаются и напряжение питания снимается с аппаратуры (с клемм *14, 15*).

Напряжения с клемм *12, 13* в случае аварии не снимаются, так как эти напряжения поступают на мощные каскады УНЧ, транзисторы которых выдерживают напряжение до 55 В. При срабатывании реле P_2 на панели выпрямителя загорается сигнальная лампа $Л_2$ «Авария стабилизатора», а с клеммы *13* в районный радиотрансляционный узел через аппаратуру контроля и резервного управления поступает сигнал неисправности.

При пропадании напряжения сети обесточивается обмотка реле P_1 и на панели выпрямителя загорается сигнальная лампа $Л_1$ «Авария сети». С клеммы *9* через аппаратуру контроля и резервного управления поступает сигнал неисправности на районный радиотрансляционный узел. Одновременно контакты *11, 12* реле P_1 через промежуточные реле отключают один УНЧ, так что при отсутствии напряжения сети работает один УНЧ и величина потребляемой электроэнергии уменьшается в два раза.

Автоматическое включение резерва 246
Автотрансформатор 25
Аккумулятор железо-никелевый 223
— кадмиево-никелевый 234
— кислотный 227
— серебряно-цинковый 235
— щелочный 233
Асинхронный двигатель однофазный 70
— — трехфазный 64
Векторная диаграмма трансформатора 9, 12, 14
Внешняя характеристика генератора постоянного тока 104, 106
— — трансформатора 31
Внутреннее сопротивление стабилизатора 179
— — — параметрического 183
— — — компенсационного 193
Вольтамперная характеристика вентиля 114
— — газоразрядного стабилитрона 180
— — кремниевого стабилитрона 180
— — тиристора 117
Вращающий момент двигателя асинхронного 67, 71
— — — постоянного тока 108
— — — синхронного 85
Вынужденное намагничивание трансформатора 126
Выпрямитель 113
Габаритная мощность трансформатора 126
Гальванические элементы 225
Генератор постоянного тока 97
— — — независимого возбуждения 99
— — — параллельного возбуждения 100
— — — последовательного возбуждения 100
— — — смешанного возбуждения 100
Группы трехфазных трансформаторов 23
Двигатель постоянного тока 107
— — — параллельного возбуждения 110
— — — последовательного возбуждения 111
Дизель-генераторная электростанция 242
Дистанционное электропитание аппаратуры уплотнения коаксиального кабеля 301, 304
— — — — симметричного кабеля 292, 296
Коммутация в машинах постоянного тока 94
Конструкция магнитного усилителя 48
— машин постоянного тока 86
— синхронного генератора 73
— трансформатора 15, 22
— трехфазного асинхронного двигателя 61
Короткое замыкание трансформатора 29
Коэффициент полезного действия стабилизатора 180, 184, 196
— — — трансформатора 32
Коэффициент пульсации 124
— сглаживания 167
— стабилизации 179, 183, 184, 193
— трансформации 12
— усиления МУ 39, 48
Магнитное поле машин переменного тока 57, 58, 60
Магнитный усилитель дроссельный 35, 43
— — с внутренней обратной связью 44
Обмотка машин переменного тока 55, 62.
— — постоянного тока 89
Обмотки МУ 34
— — обратной связи 43
— — рабочие 34
— — смещения 42
— — управления 34
Обмотки трансформатора 21
— — двойные концентрические 21
— — дисковые чередующиеся 21
— — простые концентрические 21
Обратное напряжение 115
Параметры вентиля 115
— выпрямителя 121
— стабилизатора 179
Перекрытие фаз 140
Преобразователь тиристорный мостовой 222
— — с обратными диодами 224
— — со средней точкой 223
Преобразователь транзисторный, мостовой 221
— — со средней точкой 218, 221
Пульсация напряжения псофометрическая 167
— — эффективная 167
Реакция якоря машин постоянного тока 92

— — синхронного генератора 76
Синхронный генератор 73
— двигатель 83
Сопротивление фазы выпрямителя 129
Стабилизаторы высоковольтные 210
— импульсные 196
— компенсационные 178, 186
— линейные транзисторные 189
— непрерывно-импульсные 205
— параметрические 180, 213
— с двумя регулирующими элементами 212
— с регулятором в цепи переменного тока 207
— тиристорные 211
— феррорезонансные 213
— электронные 188
Структурная схема выпрямителя 113
— — импульсного стабилизатора 196
— — компенсационного стабилизатора 187
— — непрерывно-импульсного стабилизатора 205
— — организации ДП аппаратуры К-120 303
— — организаций ДП аппаратуры К-300 303
— — стабилизатора напряжения постоянного тока с двумя регулирующими элементами 212
— — электроустановки крупной станции 283
— — ЭПУ РРЛ 310
— — ЭПУ ТУПВ 318
— — ЭПУ ЭАТС 285
Схема выпрямления, двенадцатифазная 160
— — двухполупериодная 147
— — однополупериодная 144
— — однофазная мостовая 151
— — трехфазная мостовая 157
— — трехфазная однотактная 156
— — удвоения напряжения 154
— — умножения напряжения 155
Схема соединения обмоток трансформатора 22
Трансформатор броневой 6, 17
— приведенный 12
— стержневой 17
— тороидальный 17
— трехфазный 22
Трансформаторные подстанции 236, 238
УГП с автопускаемым агрегатом 249
— с двойным преобразованием энергии 253
— с инерционным маховиком 264
— с обратимым преобразователем 251
— с тиристорным инвертором 250
— с трехмашинным агрегатом 254
Управляемый выпрямитель 160
— — с вольтодобавкой 164
— — с обратным диодом 163
Уравнение намагничивающих сил трансформатора 12, 26
— равновесия ЭДС генератора постоянного тока 98
— двигателя постоянного тока 108
— синхронного генератора 78, 80
— трансформатора 9, 11
Фильтр Г-образный *LC* 169
— — *RC* 174
Фильтр емкостной 169
— индуктивный 168
— многозвенный 172
— П-образный *CLC* 171
— П-образный *CRC* 174
— резонансный 175
— с компенсацией переменной составляющей 176
Характеристики асинхронного двигателя 69
— генератора постоянного тока 102
— двигателя постоянного тока 110
— управления ДМУ 39, 42
— управления МУ с внутренней обратной связью 47
Холостой ход трансформатора 7, 28
Эквивалентная схема трансформатора 9, 15, 30
— — параметрического стабилизатора 182
Электромагнитный момент генератора постоянного тока 99
— — синхронного генератора 79
Электроустановки предприятий проводной связи 268
— междугородной связи 287
— радиорелейных линий 308
— радиотрансляционных узлов 318
— радиоцентров 311
— телеграфных станций 285
— телефонных станций 284

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бальян Р. Х.** Трансформаторы для радиоэлектроники. М., «Советское радио», 1971. 720 с.
2. **Энергетика** предприятий связи. М., «Связь», 1965. 615 с.
3. **Китаев В. Е.** Электротехнические устройства радиосистем. М., «Энергия», 1971. 344 с.
4. **Китаев В. Е., Бокуняев А. А.** Проектирование источников электропитания устройств связи. М., «Связь», 1972. 200 с.
5. **Белопольский И. И.** Источники питания радиоустройств. М., «Энергия», 1971. 312 с.
6. **Сторм Г. Ф.** Магнитные усилители. М., «ИЛ», 1957. 300 с.
7. **Львов Е. Л.** Магнитные усилители в технике автоматического регулирования. М., «Энергия», 1972. 552 с.
8. **Розенблат М. А.** Магнитные усилители. М., «Советское радио», 1956. 824 с.
9. **Векслер Г. С., Тетельбаум Я. И.** Электропитание радиоустройств. Киев, «Техника», 1964. 383 с.
10. **Аксенов В. Н.** Выпрямители и трансформаторные подстанции. М., Связьиздат, 1961. 439 с.
11. **Мазель К. Б.** Теория и расчет выпрямителя, работающего на емкость с учетом индуктивности рассеяния трансформатора. М., Госэнергоиздат, 1967. 110 с.
12. **Каганов И. Л.** Электронные и ионные преобразователи. Ч. I. Л., Госэнергоиздат, 1950. 664 с.
13. **Источники** электропитания на полупроводниковых приборах. Под ред. С. Д. Додика и Е. И. Гальперина. М., «Советское радио», 1969. 448 с.
14. **Шевелев В. С.** Пособие по проектированию преобразователей напряжения на тиристорах. М., ВЗЭИС, 1966. 84 с.
15. **Векслер Г. С., Мачинський В. К., Штильман В. Т.** Транзисторные сглаживающие фильтры. Киев, «Техника», 1964. 171 с.
16. **Александров Ф. И., Сиваков А. Р.** Импульсные полупроводниковые преобразователи и стабилизаторы постоянного напряжения. Л., «Энергия», 1970. 188 с.
17. **Конев Ю. И.** Транзисторные импульсные устройства управления электродвигателями и электромагнитными механизмами. М.-Л., «Энергия», 1964. 120 с.
18. **Дистанционное** питание полупроводниковой аппаратуры необслуживаемых усилительных пунктов кабельных магистралей связи. М., «Связь», 1969. 56 с.
19. **Пионтковский Б. А., Серяков Н. И.** Электропитание предприятий проводной связи. М., «Связь», 1972. 464 с.
20. **Трошанов Н. А.** Электропитание судовых радиоустройств. М., «Транспорт», 1971. 248 с.
21. **Любский Г. С., Лятковская А. Д., Шилова И. Р.** Автоматизированные электроустановки радиорелейных станций. М., «Связь», 1969. 119 с.
22. **Лятковская А. Д.** Электропитание станций радиорелейных линий связи с применением системы «Рассвет-2». Экспресс-информация, серия «Проектирование сооружений связи», 1972, № 1, с. 10—14.
23. **Устройства** электропитания мощных радиосистем. Под ред. А. А. Ткачева. М., «Энергия», 1972. 168 с.
24. **Краткий** справочник конструктора РЭА. Под ред. Р. Г. Варламова. М., «Советское радио», 1972. 856 с.
25. **Вайнел Д.** Аккумуляторные батареи. М.-Л., Госэнергоиздат, 1960. 480 с.
26. **Инженерно-технический** справочник по электросвязи. Электроустановки. 1962. 671 с.
27. **Система** многоканальной связи К-1920. В кн.: Техника связи. М., «Связь», 1968. 480 с.

28. **Автоматизированные** устройства гарантированного питания аппаратуры связи. В кн.: Техника связи. М., «Связь», 1964. 133 с.
29. **Правила** устройства электроустановок. М., «Энергия», 1966. 684 с.
30. **Правила** технической эксплуатации. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Министерство энергетики и электрификации СССР. Государственная инспекция по энергетическому надзору. М., Атомиздат, 1972. 352 с.
31. **Казаринов И. А., Идбриль З. Я.** Автоматизация ЭПУ — 24 В. — «Вестник связи», 1972, № 5, с.
32. **Казаринов И. А.** Проектирование электропитающих установок предприятий проводной связи. М., «Связь», 1974. 400 с.
33. **Идбриль З. Я.** Автоматизация ЭПУ буферной блочной системы с зарядно-буферным выпрямительным устройством. Экспресс-информация. Серия «Проектирование сооружений связи. Проводная связь и радиофикация». 1973, № 3, с. 8—26.
34. **Коссов О. А.** Усилители мощности на транзисторах в режиме перевключения. М., «Энергия», 1971. 432 с.
35. **Мордухович З. Я.** ЭПУ для сельских АТС на 100—200 номеров. — «Вестник связи», 1970, № 1, с. 12—14.
36. **Дистанционное** питание на воздушных и кабельных магистралях связи. МС СССР, институт «Гипросвязь», 1970. 118 с.
37. **60-канальные** высокочастотные системы передачи по кабельным линиям связи. В кн.: Техника связи. М., «Связь», 1969. 404 с.
38. **Устройства** электропитания аппаратуры К-120. — «Вестник связи», 1971, № 10, с. 12—13.
39. **Казаринов И. А.** Установки гарантированного электропитания переменным током. Экспресс-информация. Серия «Проектирование сооружений связи. Проводная связь и радиофикация». 1973, № 2, с. 5—41.
40. **Бушуев В. М., Сергейчева Н. М.** Принципы построения системы электропитания комбинированного кабеля. — «Электросвязь», 1971, № 9, с. 56—62.
41. **Иванов-Цыганов А. И.** Электротехнические устройства радиосистем. М., «Высшая школа», 1973. 384 с.
42. **Ривкин Г. А.** Преобразовательные устройства. М., «Энергия», 1970. 544 с.
43. **Лекоргийе Ж.** Управляемые электрические вентили и их применение. Пер. с франц. под ред. Г. А. Ривкина. М., «Энергия», 1971. 503 с.
44. **Электронная** и ионная техника. Под ред. С. Н. Засорина. М., «Транспорт», 1973. 439 с.
45. **Галевский В. Д.** Настройка и регулировка радиовещательных передатчиков с анодной модуляцией. М., «Связь», 1971. 216 с.
46. **Филатов Б. Н., Шершакова А. В.** Автоматизированный радиоузел мощностью 500 Вт типа ТУПВ-0,25×2 на транзисторах. М., «Связь», 1972. 54 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава первая.
ТРАНСФОРМАТОРЫ

1.1. Основные определения 6
1.2. Режим холостого хода 7
1.3. Рабочий режим 11
1.4. Однофазные трансформаторы 15
1.5. Трехфазные трансформаторы 22
1.6. Автотрансформаторы 25
1.7. Опыты холостого хода и короткого замыкания трансформатора . . 28
1.8. Изменение напряжения на зажимах вторичной обмотки нагруженного трансформатора 31
1.9. КПД трансформатора 32

Глава вторая.
МАГНИТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

2.1. Общие сведения 34
2.2. Однотактный дроссельный МУ 35
2.3. Компенсация НС обмотки управления и обратная связь в МУ . . 42
2.4. МУ с внутренней обратной связью 44
2.5. Устройство МУ 48

Глава третья.
АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

3.1. Общие сведения об электрических машинах 51
3.2. Обмотки машин переменного тока 54
3.3. ЭДС машины переменного тока 56
3.4. Намагничивающая сила обмотки машины переменного тока . . . 57
3.5. Устройство трехфазного асинхронного двигателя 61
3.6. Принцип действия трехфазного асинхронного двигателя 64
3.7. Работа нагруженного трехфазного асинхронного двигателя . . . 65
3.8. Вращающий момент асинхронного двигателя 67
3.9. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя . . 69
3.10. Однофазные асинхронные двигатели 70

Глава четвертая.
СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

4.1. Принцип действия и устройство синхронного генератора 73
4.2. Работа нагруженного синхронного генератора 75
4.3. Параллельная работа синхронного генератора 81
4.4. Устройство и принцип действия синхронного двигателя 83
4.5. Работа нагруженного синхронного двигателя 85

Глава пятая.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

5.1. Устройство машины постоянного тока 86
5.2. Обмотки якорей машин постоянного тока 89
5.3. ЭДС машины постоянного тока 91
5.4. Магнитное поле нагруженной машины 92
5.5. Коммутация тока 94
5.6. Генератор постоянного тока 97
5.7. Возбуждение генератора постоянного тока 99
5.8. Характеристики генератора постоянного тока 102
5.9. Двигатель постоянного тока 107
5.10. Характеристики двигателя постоянного тока 110

Глава шестая.

ВЫПРЯМИТЕЛИ

6.1. Назначение и устройство 113
6.2. Вентили и их параметры 114
6.3. Режимы работы и параметры 120
6.4. Работа на активную нагрузку 121
6.5. Работа на нагрузку емкостного характера 127
6.6. Работа на нагрузку индуктивного характера 137
6.7. Схемы выпрямления, питающиеся от однофазной сети переменного тока 144
6.8. Многофазные схемы выпрямления 156
6.9. Регулирование напряжения выпрямителей 160

Глава седьмая.

СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

7.1. Общие сведения 166
7.2. Сглаживающие фильтры из одной индуктивности или емкости . . 168
7.3. *LC*-фильтры 169
7.4. *RC*-фильтры 174
7.5. Резонансные фильтры и фильтры с компенсацией переменной составляющей 175

Глава восьмая.

СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА

8.1. Типы стабилизаторов и их основные параметры 177
8.2. Параметрические стабилизаторы постоянного напряжения и тока . 180
8.3. Компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения с непрерывным регулированием 186
8.4. Импульсные стабилизаторы постоянного напряжения 196
8.5. Стабилизаторы постоянного напряжения с непрерывно-импульсным регулированием 205
8.6. Стабилизаторы постоянного напряжения с регулятором в цепи переменного тока 207
8.7. Стабилизаторы постоянного напряжения с двумя регулирующими элементами 212
8.8. Параметрические стабилизаторы переменного напряжения . . . 213

Глава девятая.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

9.1. Общие сведения 217
9.2. Транзисторные преобразователи напряжения 217
9.3. Преобразователи на тиристорах 222

Глава десятая.

ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

10.1. Гальванические элементы и батареи 225
10.2. Кислотные аккумуляторы 227
10.3. Щелочные аккумуляторы 233

Глава одиннадцатая.

ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

11.1. Общие сведения 236
11.2. Трансформаторные подстанции 238
11.3. Автоматизированные дизель-генераторные электростанции предприятий связи 242
11.4. Автоматическое резервирование электроснабжения предприятий связи 246

Глава двенадцатая.
УСТРОЙСТВА ГАРАНТИРОВАННОГО ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

12.1. Назначение устройств гарантированного питания (УГП) . . . 248
12.2. УГП с автоматически запускаемыми (резервными) преобразователями 249
12.3. УГП с обратимым преобразователем 251
12.4. УГП с двойным преобразованием энергии 253
12.5. УГП с трехмашинными агрегатами с приводом от постоянного и переменного тока 254
12.6. УГП с инерционным маховиком 264

Глава тринадцатая.
ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

13.1. Требования, предъявляемые к электроустановкам 268
13.2. Классификация электроустановок предприятий связи 269
13.3. Принципы построения электропитающих установок 270
13.4. Стабилизация и регулирование напряжения в ЭПУ 273
13.5. Оборудование электроустановок предприятий проводной связи . 276
13.6. Типовые схемы ЭПУ предприятий проводной связи 279
13.7. Электропитание телефонных станций 284
13.8. Электропитание телеграфных станций 285
13.9. Электропитание предприятий междугородной связи 287

Глава четырнадцатая.
ДИСТАНЦИОННОЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ АППАРАТУРЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ НА МАГИСТРАЛЯХ СВЯЗИ

14.1. Общие сведения 290
14.2. Дистанционное питание ламповой аппаратуры уплотнения симметричного кабеля 292
14.3. Дистанционное питание транзисторной аппаратуры уплотнения симметричного кабеля 296
14.4. Оборудование ОУП и НУП для дистанционного питания аппаратуры уплотнения симметричного кабеля 299
14.5. Дистанционное питание транзисторной аппаратуры уплотнения коаксиального кабеля 301
14.6. Дистанционное питание аппаратуры уплотнения К-1920 (К-1920У) . 304

Глава пятнадцатая.
ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ . . . . . .

15.1. Общие сведения 307
15.2. Электроустановка РРЛ 308

Глава шестнадцатая.
ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ПРЕДПРИЯТИЙ РАДИОСВЯЗИ И РАДИОВЕЩАНИЯ

16.1. Электроснабжение радиоцентров 312
16.2. Регулирование напряжения мощных выпрямителей и их защита . 313
16.3. Питание цепей накалов и сеток ламп в передатчиках 316
16.4. Электроснабжение приемных радиоцентров и радиовещательных узлов 318
16.5. Электропитание радиотрансляционных узлов 319

Предметный указатель 322

Список литературы 324

ИЗДАТЕЛЬСТВО «СВЯЗЬ»

В. Е. КИТАЕВ
А. А. БОКУНЯЕВ
М. Ф. КОЛКАНОВ

Электропитание устройств связи