



А. А. ЕРМИЛОВ

# ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Э

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА / 5

1355

Выпуск 161

А. А. ЕРМИЛОВ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА

1965

ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большом Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В.,  
Каминский Е. А., Маидрыки С. А., Синьчугов Ф. И.,  
Смирнов А. Д., Устинов П. И.

УДК 621. 311(04)  
Е73

*В брошюре приведены основные сведения о построении современных систем электроснабжения промышленных предприятий и их электрических схемах.*

*Даны краткие сведения о конструктивном выполнении различных видов электрических сетей в объеме, необходимом для понимания и сравнительной оценки современных систем электроснабжения промышленных предприятий.*

*Брошюра предназначена для электромонтеров, но может оказаться полезной также для начинающих инженеров и техников, работающих в области проектирования и эксплуатации электрооборудования промышленных предприятий.*

*Ермилов Алексей Алексеевич,*

**Электроснабжение промышленных предприятий**, М.—Л. издательство "Энергия". 1965, 96 с. с черт. (Б-ка электромонтера, вып. 1С1)  
Тематический план 1965 г.. Кг 161.

Редактор *С. И. Лезнов*

Техн. редактор *Я. А. Бульдяев*

Сдано в набор 3/III 1965 г.

Подписано к печати 22/IV 1965 г.

Т-06501 Бумага 84x108/,,

Печ. л. 4,92

Уч.-изд. л. 4,90

Тираж 25 000 экз.

Цена 17 коп.

Заказ 155

Московская типография № 10 Главполиграфиром  
Гооудалктаенного комитета Совета Министров СССР по печати.  
Шлюзовая таб., 10.

## **t. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Система электроснабжения промпредприятий состоит из питающих, распределительных, трансформаторных и преобразовательных подстанций и связывающих их кабельных и воздушных сетей и токопроводов высокого и низкого напряжения. Электрические схемы предприятий строятся таким образом,- чтобы обеспечить удобство и безопасность их обслуживания, необходимое качество электроэнергии и бесперебойность электроснабжения потребителей в нормальных и аварийных условиях.

В то же самое время схемы электроснабжения должны быть экономичными по затратам, ежегодным расходам, потерям электроэнергии и расходу дефицитных материалов и оборудования. Для этого применяются связи между электрическими сетями различных ведомств, от которых производится питание промышленных, коммунальных и других потребителей. При сооружении на предприятиях собственных электростанций (ТЭЦ), главных понизительных подстанций (ГПП) и других источников электроснабжения (питания) следует учитывать потребность в электроэнергии Олизлежащих потребителей. Особенно это необходимо в сельских и других районах, недостаточно охваченных энергетическими системами, так как позволяет создавать в таких местах надежные схемы электроснабжения с затратой незначительных средств на резервирование.

Электрические сети предприятия (трассы кабельных и воздушных линий, размещение электроустановок и т. д.), как и другие его коммуникации (паропроводы, воздухопроводы и т. д.), являются частью общего комплекса предприятия и должны увязываться с его гене-

ральным планом, строительной и технологической частями.

В отношении требуемой надежности электроснабжения электроприемники делятся на три категории. К первой категории по резервированию относятся лишь те электроприемники, перерыв в электроснабжении которых может повлечь за собой опасность для людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение особо важных элементов городского хозяйства.

Эти электроприемники должны обеспечиваться питанием от двух независимых источников, и перерыв их электроснабжения допускается лишь на время автоматического включения резерва.

Примерами электронагрузок первой категории могут служить доменные цехи, котельные производственного пара, ответственные насосные, приводы вагранок, разливочные краны, водоотливные и подъемные установки горнорудных предприятий и др.

В исключительных случаях для особых объектов по согласованию с энергетической системой осуществляются дополнительные мероприятия, еще более повышающие надежность электроснабжения.

Электроприемники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного количества городских жителей, отнесены ко второй категории с менее строгими требованиями к схеме питания.

Для этих электроприемников, хотя, как правило, и требуется предусматривать резервное питание, однако допускаются перерывы электроснабжения на время, необходимое для ручного включения резерва дежурным персоналом или выездной бригадой (для тех подстанций, где нет постоянного дежурного персонала). В большинстве случаев для электроприемников второй категории также применяется автоматическое резервирование питания, так как это не требует больших капитальных затрат, тем более что во многих случаях в схемах распределения энергии бывает трудно отделить приемники второй категории от первой.

Вторая категория самая распространенная. К ней относятся электрооборудование основных производств текстильных фабрик, прокатных цехов, горных разработок (кроме водоотлива и подъема), почти все механизмы целлюлозно-бумажной промышленности, компрессорные, ряд электроустановок цветной металлургии и др.

Все прочие электроприемники, например вспомогательных цехов, цехов несерийного производства, на неответственных складах и т. п., отнесены к третьей категории и допускают перерыв питания на время ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения продолжительностью до одних суток.

На этих и других предприятиях следует применять такие способы прокладки проводов и кабелей и такое размещение трансформаторов, которые обеспечивают быстрый их ремонт или замену. Весьма важно для этого иметь на складе находящиеся в исправности резервные трансформаторы.

Надежность электроснабжения предприятий, как правило, следует повышать при приближении к источникам питания (ТЭЦ, ГПП и т. д.) и по мере увеличения мощности соответствующих звеньев системы, так как аварии в мощных звеньях приводят к более тяжелым последствиям, чем в мелких, и охватывают большую зону предприятия.

Требования, предъявляемые к электроснабжению предприятий, зависят также от их величины и потребляемой ими мощности. С этой точки зрения предприятия можно условно подразделить на крупные, средние и небольшие. К крупным относятся предприятия с установленной мощностью электроприемников порядка 75—100 *Мет* и более. К числу таких предприятий можно, например, отнести заводы черной и цветной металлургии, химии, искусственного волокна, тяжелого машиностроения и т. п. К средним предприятиям можно причислить большинство машиностроительных заводов, деревообделочных комбинатов, текстильных фабрик, где установленная мощность электроприемников не превышает 75—100 *Мет*, а нижний предел составляет около 5—7,5 *Мет*. К небольшим предприятиям относится большинство предприятий легкой и пищевой промышленности и другие мелкие предприятия, на которых установ-

ленная мощность электроприемников находится в пределах 2—5 *Мет*.

Мощность, потребляемая этими предприятиями от энергетической системы, колеблется в более широких пределах, так как зависит от коэффициента спроса, который значительно изменяется в зависимости от характера производства.

Это подразделение, конечно, имеет очень условный характер.

## **2. НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩИХ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

По номинальному напряжению электроустановки в СССР подразделяются на электроустановки до 1 000 *в* и выше 1 000 *в*.

В ГОСТ приняты следующие номинальные напряжения:

- а) в сетях до 1 000 *в*: 36; 220/127; 380/220; 660/380 *в*;
- б) в сетях выше 1000 *в*: 3; 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750 *кв*.

В числителе указаны линейные напряжения, а в знаменателе — фазные.

Напряжения генераторов и вторичных обмоток понижительных силовых трансформаторов принимаются на 5% выше номинальных напряжений, чтобы скомпенсировать потери напряжения в сети.

В питающих и распределительных сетях промышленных предприятий применяются напряжения от 6 до 220 *кв*. К очень крупным предприятиям подводятся напряжения 330 и даже 500 *кв* радиальными линиями или от транзитных магистралей. Выбор величины наивыгоднейшего напряжения зависит от многих факторов, основными из которых являются мощность, потребляемая предприятием, его удаленность от источника питания и напряжение, на котором может производиться питание. На предприятиях, потребляющих небольшую мощность и отстоящих недалеко от источника питания, для распределения электроэнергии обычно применяется напряжение питающей сети 10 или 6 *кв*. Это удешевляет схему и делает ее более простой и надежной, так как отпадает такое промежуточное звено, как трансформаторы. Если же источник питания удален, а передаваемая мощ-

ность значительна, то на предприятиях средней мощности питание подводится на напряжении 35 кВ с последующей трансформацией на 10 или 6 кВ. В том случае, когда предприятие не имеет значительного числа электродвигателей высокого напряжения, подводящее напряжение 35 кВ применяется также и для основного распределения электроэнергии по предприятию. Линии 35 кВ вводятся на территорию предприятия в виде магистралей, к которым присоединяются трансформаторы 35/0,4 кВ без применения промежуточного напряжения 6 или 10 кВ; схема получается более дешевой и надежной.

Напряжение 35 кВ применяется также для непосредственного (без промежуточной трансформации) питания удаленных нагрузок и крупных электроприемников (сталеплавильные электропечи, мощные ртутно-выпрямительные установки и др.).

На крупных энергоемких предприятиях распределение электроэнергии на первой ступени производится на напряжении внешней питающей сети 110 кВ, а иногда 220 кВ с применением глубоких вводов питающей линий 110—220 кВ.

На второй ступени электроснабжения (как на крупных, так и на средних предприятиях) применяется напряжение 10 или 6 кВ. Напряжение 10 кВ выгоднее, чем 6 кВ, по потерям электроэнергии и по расходу цветного металла, так как сечение линий получается меньше. Однако внедрению напряжения 10 кВ пока препятствует ограниченный диапазон электродвигателей 10 кВ, которые в настоящее время изготавливаются лишь начиная с мощности 1 000—1 200 кет. Поэтому напряжение 10 кВ в ряде случаев получается неэкономичным по сравнению с напряжением 6 кВ на тех предприятиях, на которых имеется большое количество электродвигателей мощностью 200—1 500 кет. В дальнейшем при снижении нижнего предела мощности двигателей на напряжение 10 кВ область применения этого напряжения увеличится. Напряжение 10 кВ целесообразно применять на тех предприятиях, на которых нет значительного числа электродвигателей высокого напряжения (металлообрабатывающие, деревообрабатывающие, текстильные и др.).

Иногда применение напряжения 10 или 6 кВ определяется величиной напряжения генераторов собствен-

ной ТЭЦ в тех случаях, когда от последней питается значительная часть предприятия.

Напряжение 6 кВ широко применяется на предприятиях, имеющих значительное число электроприемников на это напряжение, в частности электродвигателей (горнообогатительных, черной и цветной металлургии, цементной промышленности и др., где удельный вес таких электроприемников достигает 50—60% от их общей мощности).

Напряжение 3 кВ в качестве основного напряжения распределительной сети не применяется. Оно иногда используется в качестве промежуточного напряжения при системе основного распределения электроэнергии на напряжении 10 кВ для питания электродвигателей мощностью от 100 до 200—350 кет (рис. 4 и 5).

В связи с введением в ГОСТ напряжения 660 в и расширением диапазона мощностей электродвигателей, изготавливаемых на напряжение 6 кВ, и эта область применения напряжения 3 кВ сужается.

В ГОСТ введено также новое напряжение — 20 кВ. Его легче будет по сравнению с напряжением 35 кВ применить во внутрицеховых сетях, так как для этого потребуются более облегченные и дешевые аппараты и кабели, чем при напряжении 35 кВ.

При напряжении 20 кВ снижаются годовые расходы за счет уменьшения (примерно вдвое) потерь электроэнергии в сетях, трансформаторах и другом электрооборудовании; уменьшаются токи короткого замыкания в распределительных сетях по сравнению с напряжением 6 или 10 кВ. Напряжение 20 кВ дает значительно большие возможности в отношении развития электросетей предприятия и питания отдельных удаленных потребителей. Оно может найти применение, например, на рудниках, для электроснабжения удаленных населенных пунктов или небольших соседних предприятий и т. п., а также на предприятиях средней мощности, не имеющих своих ТЭЦ и получающих питание трансформированным напряжением.

Однако напряжение 20 кВ пока еще почти не применяется из-за отсутствия электрооборудования.

В распределительных сетях до 1 000 в основным является напряжение 380/220 в при питании силовой и

осветительной нагрузок от общих трансформаторов, но от отдельных сетей.

Напряжение 220/127 в в редких случаях может оказаться целесообразным на реконструируемых предприятиях либо при применении для освещения отдельных трансформаторов или специальных промежуточных трансформаторов 660/230/133 в или 380/230/133 в.

Для местного освещения в помещениях без повышенной опасности применяется такое же напряжение, как и для общего освещения на данном объекте. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных для стационарного местного освещения и ручных переносных ламп, как правило, применяется напряжение 36 в. При наличии особо неблагоприятных условий в отношении опасности поражения электрическим током (например, работа в котлах) применяется напряжение 12 в.

Введенное в ГОСТ новое напряжение 660 в пока еще очень мало применяется (в основном в каменноугольной промышленности), так как выпускаемое на это напряжение электрооборудование весьма ограничено по номенклатуре и количеству.

Это напряжение является перспективным; после освоения массового производства электрооборудования 660 в и его удешевления рентабельность и область применения этого напряжения будут расти.

Фактором, стимулирующим внедрение напряжения 660 в, является резкое увеличение удельной плотности электрической нагрузки и концентрация мощностей на всех предприятиях. Поэтому экономические мощности цеховых трансформаторов увеличиваются с 560—1000 до 1600—2500 *квa*, а иногда и до 4000 *квa*. Следовательно, токи короткого замыкания на вторичном напряжении 380 в возрастают до величин, недопустимых для аппаратов низкого напряжения, и, таким образом, напряжение 380 в становится технически неприемлемым.

При напряжении 660 в уменьшаются токи к. з. (см. пример расчета) и рабочие токи. В ряде случаев можно упростить схему электроснабжения и конструктивное выполнение подстанций за счет сокращения числа силовых трансформаторов.

**Пример расчета токов короткого замыкания на стороне вторичного напряжения крупного цехового трансформатора при напряжении 0,4 и 0,69 *кв*.**

*Исходные данные*

1. Первичное напряжение питающей сети 35 кВ.
2. Мощность трансформатора  $P_n=1\ 800$  кВА.
3. Мощность короткого замыкания системы на шинах 35 кВ питающей подстанции  $S_c=22\ 3000$  кВА.

*Расчет*

Наименование расчетных величин	Значения расчетных величин при напряжении, кВ	
	0,4	0,69
Спротивление трансформатора 1 800 кВА:		
$R_i$ 1 000	0.0011	ом
$L$ — $\varphi_H$	0.0058	ом
Спротивление контактов разъединителя /,,	0.00008	ом
Спротивление токоподвода от трансформатора к шиту:		
xx	0.00225	ом
Гт	0.0005	ом
Спротивление трансформатора тока:		
	0.00003	ом
	0,0003	ом
Спротивление контактов автомата г,	0.0003	ом
Спротивление системы, приведенное к вторичному напряжению трансформатора		
$X_c = \frac{ii-i}{S_c} \text{ ОО}$	0.00072	ом

**П р о д о л ж е н и е**

Наименование расчетных величин	Значения расчетных величин при напряжении, кв	
	0,4	0,69
<b>Суммарное индуктивное сопротивление</b>	<b>0,0088</b> ом	<b>0,0218</b> ом
<b>Суммарное активное сопротивление <math>r_{\Sigma}</math></b>	<b>0,0023</b> ом	<b>0,0047</b> ом
<b>Полное сопротивление всех элементов сети до точки к. з.</b>		<b>0,0223</b> ом
$z_D = Y_A + 'l$		
<b>Ток короткого замыкания</b>		
$I'' = \frac{U_{\phi}}{3 Z_0}$	<b>25 200</b> а	<b>17 800</b> а
<b>Ударный ток короткого замыкания</b>		
$i_p = \sqrt{3} I''$	<b>50000</b> а	<b>35 000</b> а

Примечания: 1. При напряжении 0,69 кв ток к. з. уменьшился примерно в 1,5 раза за счет увеличения сопротивлений.

2. При расчете токов к. з. в сетях напряжением до 1 000 в учитываются индуктивные и активные сопротивления всех элементов сети.

В первую очередь напряжение 660 в будет применяться в тех отраслях промышленности, в которых по условиям генплана, технологии и окружающей среды не могут быть осуществлены в должной степени глубокие вводы и нельзя приблизить трансформаторы к центрам питаемых ими нагрузок и в которых по этой причине имеют место протяженные и разветвленные кабельные сети большого сечения. К ним относятся: угольная, нефтяная, ряд предприятий химической промышленности и аналогичные производства.

Напряжение 660 в целесообразно при первичном напряжении распределительной сети 10 кв. В этом случае экономия, получаемая за счет удешевления двигателей 660 в и лучшего их к. п. д. по сравнению с двигателями 6 кв, а также за счет уменьшения потерь электроэнергии в сети 660 в по сравнению с сетью 380 в, полностью реализуется.

При первичном же напряжении 6 кв, когда значительная часть крупных электродвигателей может быть

включена непосредственно (без трансформации) на это напряжение, применение напряжения 660 в может оказаться неэкономичным, так как при этом варианте потребуется дополнительная трансформация для питания электродвигателей 660 в.

Необходимо также отметить, что при применении напряжения 660 в все же сохраняется сеть 380/220 в в объеме, необходимом для питания мелких электродвигателей, осветительных электроприемников, катушек пускателей, цепей управления и измерения. Это приводит к удорожанию электрохозяйства предприятия и несколько осложняет его эксплуатацию, так как по-явятся два напряжения — 660 и 380 в. Поэтому выбор напряжения 660 в должен быть в каждом отдельном случае обоснован технико-экономическими расчетами.

### 3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

*Источниками питания* (электроснабжения) промышленных предприятий (ИП) являются: а) собственные электрические станции предприятий (ТЭЦ или ЦЭС); б) линии, связывающие распределительную сеть предприятий с электрическими станциями, с сетью энергосистемы либо с электрической сетью коммунальной или другой электрической станции.

К независимым источникам питания относятся источники, на которых сохраняется напряжение при исчезновении его на других источниках. Такими источниками являются распределительные устройства двух электростанций или подстанций. Согласно Правилам устройства электроустановок, две секции сборных шин электростанции или подстанции также относятся к независимым источникам, если одновременно соблюдены следующие условия: каждая из секций имеет питание от независимого источника; секции не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключаемую при нарушении нормальной работы одной из секций.

Практика последнего времени показала, что даже при наличии вышеупомянутых независимых источников питания может иметь место полное или частичное «погашение» предприятия. Поэтому, если перерыв питания отдельных производственных участков или агрегатов может вызвать опасность для жизни людей, взрыв или

же повреждение оборудования, то целесообразно предусматривать тѣтний, аварийный источник. Его мощность очень мала и выбирается из расчета питания только тех механизмов и устройств, которые обеспечивают безаварийный останод предприятия, работу пожарных насосов, вентиляцию; вывод людей из опасных мест, питание устройств связи и т. д. В качестве таких аварийных источников могут быть применены небольшие дизельные станции, бензиновые двигатели, аккумуляторные батареи или же электрические связи с нормально не используемыми ближайшими независимыми источниками, которые остаются в работе при обесточении предприятия.

Основными и надежными источниками питания предприятий электроэнергией являются электростанции и сети районных энергосистем, у которых, кроме того, стоимость электроэнергии дешевле, чем на собственных заводских электростанциях.

Собственные заводские электростанции "сооружаются в том случае, если они необходимы для комбинированного снабжения предприятия электроэнергией и теплом и производят электрическую энергию в соответствии с графиком тепловых нагрузок. Но они обычно располагают сравнительно небольшой мощностью, и поэтому главным источником питания и 'в этом случае остается энергосистема.

В тех редких случаях, когда для производства нужно много тепла или же предприятие очень удалено от мощной энергосистемы, собственная электростанция может явиться одним из основных источников питания. Но и при этом она обязательно связывается с ближайшей районной энергосистемой.

На некоторых предприятиях при авариях в энергосистеме, связанных с потерей значительных генерирующих^ мощностей и снижением частоты, нарушением устойчивости и качаниями, может быть предусмотрена делительная защита, отделяющая от энергосистемы заводскую электростанцию с целью сохранения ее в работе для питания наиболее ответственных производственных электронагрузок от собственного источника.

Если не предусмотреть в этих случаях делительной защиты, то вся нагрузка района ляжет на сравнительно маломощную собственную электростанцию, она тоже

будет вынуждена отключиться, и может произойти полное «погашение» предприятия.

Мелкие предприятия в городах питаются от коммунальных сетей.

Если предприятие невелико, потребляет небольшую мощность (в пределах 800—3 000 *квт*), Производственные здания не разбросаны и нет особых Требования к бесперебойности электроснабжения, то электроэнергия от источника питания может быть подведена к одному трансформаторному или распределительному пункту. Если же предприятие потребляет более значительную мощность, группы электроприемников расположены в удаленных друг от друга местах и имеются повышенные требования к бесперебойности электроснабжения, то питание целесообразно подводить к двум и более приемным пунктам. Пункты приема электроэнергии выполняются по-разному в зависимости от величины подводимой мощности и напряжения питающих линий.

Когда источник питания близок и потребная мощность сравнительно невелика, то электроэнергия подводится по линиям 6 или 10 кв к распределительным пунктам (РП), которые служат для приема и распределения электроэнергии без ее преобразования или трансформации. Иногда распределительный пункт совмещается с одной из цеховых трансформаторных подстанций (ТП), обслуживающей ближайших потребителей.

От РП электроэнергия распределяется по цеховым подстанциям (ТП) и подводится к электроприемникам высокого напряжения (электродвигателям, электропечах и др.). В этих случаях напряжения питающей и распределительных сетей совпадают и не требуется промежуточной трансформации подводимой энергии.

*Цеховыми трансформаторными подстанциями* (ТП) называются подстанции, преобразующие электроэнергию на пониженное напряжение и непосредственно питающие потребителей одного или нескольких прилегающих цехов или часть большого цеха. В ряде случаев от этих же подстанций питаются близко расположенные потребители высокого напряжения. На небольших предприятиях энергия принимается непосредственно на ТП.

Если предприятие потребляет значительную (более 40 *Мва*) мощность, а источник питания удален, то энер-

и

гия подводится на более высоком напряжении — 35, 110 и даже 220 кВ а в отдельных случаях, на очень крупных предприятиях, V от электросетей 330 и 500 кВ. Тогда прием электроэнергии производится на главных понижительных подстанциях (ГПП), где она трансформируется обычно на напряжение 6 или 10 кВ и иногда частично также на напряжение 35 кВ для питания крупных или удаленных потребителей. На этих напряжениях электроэнергия распределяется по предприятию.

Пункты приема электроэнергии обычно связываются друг с другом и с собственными электростанциями завода отдельными связями или через распределительную сеть.

#### **4. ГЛУБОКИЕ ВВОДЫ**

Наиболее экономичной и надежной системой литания является такая, при которой источники высшего напряжения максимально приближены к потребителям электроэнергии, а прием электроэнергии рассредоточивается по нескольким пунктам. Происходит децентрализация электроснабжения. Такой системой являются глубокие вводы питающих линий 35, 110 и 220 кВ в глубь предприятия. Линии глубоких вводов проходят по территории предприятия в виде радиальных ЛЭП или магистралей с ответвлениями к наиболее крупным пунктам потребления электроэнергии. При этом прием энергии децентрализуется, т. е. производится не одной ГПП, а несколькими подстанциями 35, 110 или 220 кВ.

Это дает возможность применения в отдельных случаях, на напряжении 110 кВ, однотрансформаторных ГПП, если возможно обеспечить аварийное питание нагрузок 1-й категории по связям вторичного напряжения с другими ГПП или с ТЭЦ или же другими способами, а также при наличии централизованного резерва, обеспечивающего быструю замену поврежденного трансформатора.

Такая система электроснабжения находит свое применение при нагрузках, размещенных во многих пунктах на большей территории: горнообогатительных комбинатах, карьерах и т. п. Там число подстанций, подключаемых к линиям глубокого ввода, доходит до 10—12. На предприятиях с более концентрированными нагрузками, там, где имеются крупные электропечи, мощные

электродвигатели, электролизные ванны Я т. п., мощность приемных подстанций 35—220 кВ/ более значительна, а их число меньше (до 3—4). /

Подстанции глубоких вводов выполняются по простой схеме — без выключателей и сборных шин на стороне первичного напряжения. Они могут размещаться рядом с обслуживаемыми ими производственными корпусами, а их распределительные устройства 6—10 кВ иногда встраиваются прямо в эти корпуса.

В зависимости от мощности и назначения главных понизительных подстанций, от схемы их питания и удаленности от питающего источника на первичном напряжении 35—220 кВ применяются следующие упрощенные схемы ГПП.

а) Схемы с короткозамыкателями и отделителями. Они применяются при установке понизительных трансформаторов 6 300 кВА и выше, присоединяемых к ответвлениям от проходящих магистральных линий 35—220 кВ (рис. 1,о).

Действие схемы происходит в такой последовательности: под воздействием релейной защиты замыкается короткозамыкатель К поврежденного трансформатора и отключается выключатель на головном участке питающей линии, снабженный устройством АПВ (автоматического повторного включения).

При этом с помощью вспомогательных контактов короткозамыкателя замыкается цепь привода отделителя О, который отключает поврежденный трансформатор лишь при обесточенной питающей линии, т. е. позже отключения головного выключателя и ранее, чем действует его АПВ, во время так называемой «бестоковой» паузы, т. е. в то время, когда в цепи отделителя нет тока. Для этого в схеме предусматривается блокировка, разрешающая отключение отделителя только при отключенном выключателе на источнике питания, поскольку отделитель неспособен отключать ток нагрузки и тем более ток повреждения.

После отключения отделителем поврежденного трансформатора, АПВ головного участка линии, имеющее необходимую выдержку времени, вновь автоматически включает линию, и тем самым восстанавливается питание неповрежденных трансформаторов и остальных подстанций, подключенных к данной линии.

Ю

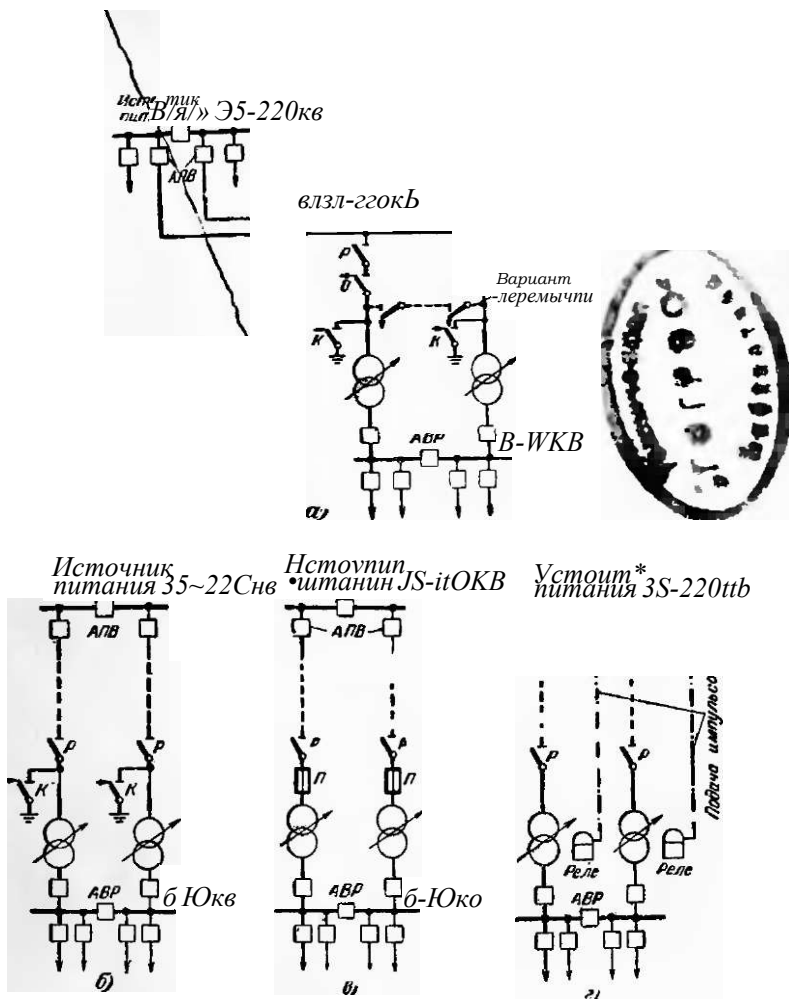


Рис. 1. Упрощенные схемы подстанций глубоких вводов.

а — схема с отделителями и короткозамыкателями при магистральном питании; б — схема только с короткозамыкателями при радиальном питании; в — схема с предохранителями; г — схема с подачей отключающего импульса при радиальном питании.

При большом собственном времени отключения отделителей нужно предусматривать двукратное АПВ. Первый цикл имеет минимальную выдержку времени для быстрого отключения неустойчивых повреждений на линиях, являющихся наиболее частыми. В это время действие отделителя блокируется, и его отключение про-

2—155

17

исходит лишь во время второго цикла, выполняемого более продолжительным.

Недостатком этой схемы является то обстоятельство, что при повреждении любого трансформатора отключаются, хотя и кратковременно, и все другие трансформаторы, подключенные к данной магистральной линии.

При этой схеме при наличии у отделителя автоматического привода предусматривается блокировка, не позволяющая производить следующие операции:

отключать нагрузки отделителем или разъединителем Р (без дутья);

включать нагрузки разъединителем или вручную отделителем;

отключать разъединителем ток холостого хода трансформатора при наличии отделителя;

включать отделитель или разъединитель на включенные заземляющие ножи или на включенный короткозамыкатель;

включать заземляющие ножи на шины, не отделенные разъединителем (или отделителем) от шин, находящихся под напряжением.

Блокировочные замки у отделителей не должны препятствовать автоматическим переключениям во время бестоковой паузы при АПВ.

Рекомендуется механическая ключевая блокировка, и только в тех случаях, когда она получается сложной, следует применять электромагнитную блокировку.

На однострансформаторных подстанциях, как правило, целесообразна механическая блокировка замками системы Гинодмана, а на двухтрансформаторных нужно применять электромагнитную блокировку.

Разрешается временно, до разработки приемлемых схем, не делать указанной блокировки короткозамыкателя с отделителем, имеющим ручной привод.

б) Схемы только с короткозамыкателями (без отделителей) применяются для трансформаторов тех же мощностей, что и схемы с отделителями, но только для питания каждого трансформатора отдельной радиальной линией по схеме блока линия—трансформатор (рис. 1,6).

При возникновении повреждения в трансформаторе короткозамыкатель включается под воздействием релейной защиты от внутренних повреждений в трансформд-

торе (газовец, дифференциальной), к которым нечувствительна защита головного участка линии; происходит искусственное короткое замыкание, вызывающее отключение выключателя на головном участке этой линии.

Следовательно», головной выключатель в данном случае осуществляет^ защиту не только линии, но и трансформатора, а установленное на нем устройство АПВ действует при повреждениях как в линии, так и в трансформаторе.

В случае неуспешного АПВ головной выключатель вновь отключается, действие схемы на этом заканчивается и линия остается отключенной длительно, до ликвидации повреждения в питаемом ею трансформаторе.

Успешное действие АПВ покажет, что имело место самоустранившееся повреждение на линии, а не в трансформаторе, и тогда блок линия—трансформатор останется в работе.

Эти схемы просты, не требуют отделителей, и, что самое главное, работа схемы не отражается на других потребителях, не приключенных к данному трансформатору, как это имеет место в схемах с отделителями при магистральном питании нескольких подстанций.

в) Схемы с разъединителями и стреляющими предохранителями (рис. 1,в) рекомендуются, например, для трансформаторов мощностью до 4000 *кв*а. В дальнейшем, после освоения более мощных предохранителей, область применения этих схем должна значительно расширяться. Они более удобны в эксплуатации по сравнению со схемами, где имеются короткозамыкатели и отделители, обеспечивают селективное отключение трансформаторов, более просты в обслуживании и экономичны.

г) Схемы только с разъединителями или с глухим присоединением на стороне первичного напряжения трансформаторов. Эти схемы допустимы для трансформаторов мощностью до 5600 *кв*а (по новому ГОСТ—6300 *кв*а), включительно, не требующих газовой защиты, при питании их по радиальной тупиковой линии по схеме блока линия—трансформатор. Они могут быть применены также для трансформаторов любой мощности при радиальном питании, при относительно близком располо-

жении источника питания, когда целесообразным является дистанционное управление выключателями головного участка питающей линии по контрольным проводам с воздействием на него защиты трансформатора (рис. 1,г).

Экономические расчеты показали, что такие схемы более всего целесообразны при близости источника питания (порядка 2—3 км). Рекомендуется использовать имеющиеся каналы связи, защиты и телемеханики для передачи отключающего импульса от защит трансформатора на выключатель головного участка линии. При этом не будет наблюдаться столь частая и значительная посадка напряжения на питающей узловой подстанции, которая возникает в схемах с короткозамыкателем при его действии. Особенно это сказывается при наличии на головных участках воздушных выключателей, у которых выявлено значительное число аварий при отключении ими близких коротких замыканий. Это явление принято называть «километрическим эффектом», оно обусловлено большими начальными скоростями восстановления напряжения при отключении неудаленных коротких замыканий. Применять схему с передачей отключающего импульса от защит трансформатора на выключатель источника питания следует в том случае, если релейная защита на питающем конце нечувствительна к повреждениям в трансформаторе.

Схему с подачей отключающего импульса можно применять не только для тупиковых радиальных линий, но и для подстанций, питаемых отпайками от проходящей магистральной линии и расположенных поблизости от центра питания. На таких подстанциях предусматриваются только отделители, а импульс от действия защиты трансформатора передается непосредственно на выключатель головного участка питающей магистрали.

Необходимо подчеркнуть, что без упрощенного выполнения ГПП практически невозможно было внедрение глубоких вводов и системы децентрализации приема электроэнергии (или метода дробления ГПП). Это стало возможным без уменьшения надежности электроснабжения благодаря применению автоматики: АПВ на головном участке питающей линии 35—220 кВ и АВР на вторичном напряжении 6—10 кВ, на секционном выключателе (см. § 10). При помощи этой автома-

тики быстро восстанавливается питание при аварийном отключении линии или трансформатора. Поэтому описанные упрощенные схемы коммутации без выключателей на первичном напряжении ГПП в случае применения двухтрансформаторных ГПП и при наличии АВР на вторичном напряжении вполне пригодны для питания потребителей любой категории и по бесперебойности питания не уступают подстанциям со сборными шинами и с выключателями на первичном напряжении трансформаторов.

Надежность работы схемы при отсутствии выключателей даже повышается, так как около 60% аварий приходится на выключатели, а их ремонт является очень дорогой и трудоемкой работой.

На рис. 2 представлена схема электроснабжения крупного предприятия, наглядно иллюстрирующая применение глубокого ввода на напряжении 110 кВ и метода дробления ГПП. Двухцепная линия глубокого ввода приключена к районной подстанции энергосистемы и проходит по территории предприятия в зоне основных электрических нагрузок. К линии глубокого ввода подключены четыре ГПП (вместо одной), выполненных по упрощенным схемам с применением отделителей и короткозамыкателей и без сборных шин 110 кВ. ГПП1, ГПП2 и ГПП3 двухтрансформаторные. Трансформаторы присоединены к разным цепям двухцепной линии. На стороне вторичного напряжения предусмотрен АВР. При аварии на линии или в трансформаторе питание автоматически переводится на неповрежденный элемент, благодаря чему сохраняется полная бесперебойность электроснабжения. ГПП4 одностранформаторная. Трансформатор приключен «вилкой» к двум линиям. На стороне 6—10 кВ предусмотрена короткая перемычка с ТЗЦ, пропускная способность которой рассчитана на питание наиболее ответственных нагрузок ГПП4 при аварийном режиме. При нормальном режиме перемычка разомкнута.

При такой системе распределительные устройства вторичного напряжения (6—10 кВ) разукрупненных подстанций выполняют функции распределительных пунктов (РП), и, следовательно, отпадает одно звено коммутации, сокращаются распределительные сети 6—10 кВ, число ступеней трансформации, кабельные трассы, про-

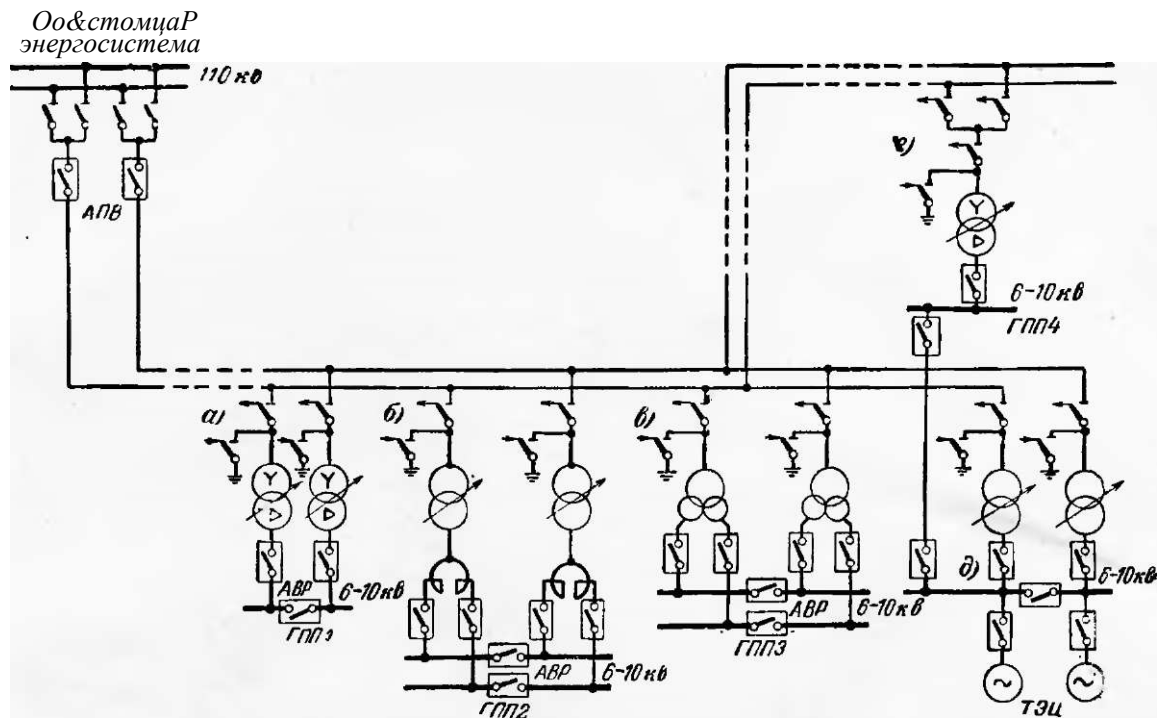


Рис. 2. Схема электроснабжения с применением глубокого ввода 110 кв и дробления ГПП.  
 а — двухтрансформаторная ГПП без реакторов на вторичном напряжении; б — то же с расщепленными реакторами;  
 в — то же с расщепленными обмотками трз формата в; г — однострансформаторная подстанция, связанная пере-  
 сьбою и ГЭЦ — ЭД

тяженность дорогих кабельных туннелей и пр. Внешняя питающая сеть 110 кВ сливается с распределительной сетью первой ступени, распределение электроэнергии на этой ступени происходит с минимальными потерями электроэнергии, наименьшими затратами проводникового металла и меньшими капиталовложениями.

Система глубоких вводов и метод дробления ГПП имеет целый ряд других достоинств.

Повышается надежность электроснабжения, так как при аварии выпадает только одно небольшое звено, которое легче восстановить, чем при одной мощной ГПП. З<sup>3</sup> ча аварии резко сокращается.

Уменьшаются рабочие токи и токи к. з. на вторичном напряжении таких небольших подстанций, упрощается коммутация и в ряде случаев можно обойтись без реактирования линий или же применить групповые реакторы, а также не потребуются дорогих громоздких многоамперных выключателей (типа МГГ) на вводах и на секциях.

Расширяется область применения схем с предохранителями высокого напряжения на стороне 35—110 кВ, которое в эксплуатационном отношении имеют преимущества по сравнению со схемами с короткозамыкателями.

Значительно облегчается задача регулирования напряжения (см. § 9).

Более просто и дешево решается схема развития электроснабжения в большинстве случаев путем сооружения новых подстанций в центрах вновь возникающих нагрузок, но не путем расширения существующих подстанций, как это было при мощных ГПП. Следует лишь предусмотреть возможность замены установленных трансформаторов на трансформаторы большей мощности при выдаче строительного задания на фундаменты и маолосборное устройство.

При применении в системах электроснабжения схем ГПП с короткозамыкателями и отделителями и при наличии на вторичном напряжении крупных синхронных двигателей (СД), синхронных компенсаторов, линий связи с ТЭЦ и т. п. нужно иметь в виду следующее:

1) при коротком замыкании между отделителем 1 подстанции № 1 и выключателем, установленным на стороне вторичного напряжения этой подстанции (рис. 3,а), выключатели 2 на Я<sub>1</sub> и И<sub>2</sub>, хотя и будут отключены, но

к месту короткого замыкания будет протекать ток от синхронных электродвигателей СД, приключенных к шинам вторичного напряжения подстанции № 2.

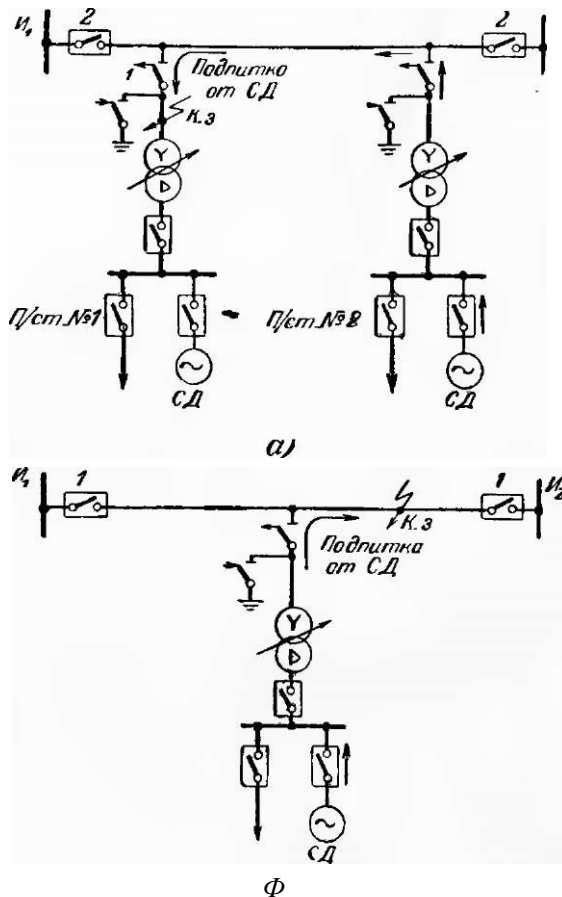


Рис. 3. Схемы с подпиткой от синхронных двигателей.

Этот ток, протекая через трансформатор тока в цепи короткозамыкателя и подключенное к нему токовое реле, блокирует отделитель, который останется включенным. Следовательно, АПВ питающих линий будут unsuccessfulными и нельзя будет восстановить питание трансформатора.

торов, приключенных ко всем ответвлениям этой линии. Но возможен и другой случай. Так как чувствительность вышеупомянутого реле токовой блокировки в приводе короткозамыкателя невелика, то при уменьшении первичного тока реле (порядка 500—800 а) до 40% и ниже реле может позволить отделителю отключиться. Следовательно, при еще значительных токах подпитки места короткого замыкания от *СД* соседней подстанции (порядка 200—300 а) блокировка перестает действовать, отделитель отключит недопустимый для него ток, что приведет к аварии;

2) если случится короткое замыкание на линии 110—220 кВ, которой приключены отпайки к трансформаторам (рис. 3,6), то, хотя выключатели 1 на источниках питания И1 и #2 будут отключены защитой, но питание моста повреждения может продолжаться током от синхронных двигателей *СД* и поэтому АПВ источников питания будет неуспешным;

3) при подпитке от синхронных двигателей будет замедляться пуск АВР на стороне вторичного напряжения трансформаторов, так как *СД* поддерживают напряжение на шинах 6—10 кВ и оно снижается медленнее, чем при отсутствии подпитки, тем более что при небольшом снижении напряжения действует форсировка возбуждения *СД*, а уставка реле напряжения в схеме АВР выбирается низкая по ряду условий (например, для отстройки от случайных быстропреходящих эксплуатационных понижений напряжения в сети и т. д.);

4) при быстродействующих АПВ или АВР обороты *СД* могут оставаться близкими к синхронным и, следовательно, электродвижущая сила этих двигателей будет достаточно высока с учетом также форсировки возбуждения. Поэтому при несинхронном включении электродвигателей в результате действия автоматики могут быть большие броски тока, опасные для этих электродвигателей.

Все эти обстоятельства осложняют защиту и автоматику, вызывают серьезные неудобства в эксплуатации, и их необходимо учитывать при построении системы электроснабжения по упрощенным схемам. Радикальным решением является быстрое отключение *СД*, дающих подпитку в месте короткого замыкания. Для этой цели на подстанциях, питаемых ответвлениями от прохо-

Дящей линии, нужно Предусматривать устройства, которые фиксируют повреждение на этой линии или на другом ответвлении от него. Эти устройства должны либо отключать *СД* и другие источники подпитки, либо действовать на снятие возбуждения у этих *СД*.

\* \*  
\*

Необходимо еще упомянуть о схемах подстанций 110 и 35 кв со специальными открытыми плавкими вставками, которые могут быть применены взамен короткозамыкателей и отделителей на временных подстанциях или на подстанциях, к которым не предъявляются большие требования в отношении бесперебойности питания потребителей.

Плавкие вставки изготавливаются из одной или двух-трех алюминиевых проволок. Их номинальный ток  $I_n$  и сечение  $q$  определяются по формулам:

$$I_n = 19,3 q \sqrt{9} = 0,0518 I_n.$$

Время плавления плавкой вставки выбирается минимально возможным по условиям селективности. Однако для правильного и селективного действия схемы необходимо, чтобы при трехфазном металлическом коротком замыкании за трансформатором время плавления вставки превышало уставку времени максимальной защиты на вторичном напряжении. Для удовлетворения этого условия в большинстве случаев, по-видимому, будет достаточно, чтобы время плавления вставки было 2—3 сек. При возникновении короткого замыкания на первичном напряжении трансформатора время плавления вставки при правильном ее выборе не должно быть более 0,2 сек.

Для обеспечения действия схемы вставки конструктивно так устроены и расположены [Л- 2], что их расплавление в любой из фаз вызывает искусственное короткое замыкание (через дугу) по крайней мере одной фазы в сетях с большим током замыкания на землю (т. е. при заземленной нейтрали) и не менее двух — в сетях с малым током замыкания на землю, т. е. при изолированной нейтрали. Дальнейшее действие схемы происходит примерно так же, как и при короткозамыкателях, а именно: получившееся короткое замыкание отключается Действием релейной защиты на выключатель

головного участка питающей линии, снабженной АПВ. За время бестоковой паузы АПВ дуга, возникшая при расплавлении плавкой вставки, погаснет и поврежденный трансформатор окажется отключенным, а все прочие неповрежденные присоединения восстановят свое питание после успешного действия АПВ.

Установка плавких вставок предусматривает возможность быстрого ручного или дистанционного отключения трансформатора.

## **5. СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВНУТРИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Схемы внутреннего распределения электроэнергии имеют ступенчатое построение. Число ступеней определяется мощностью предприятия и характером размещения потребителей на его территории. В большинстве случаев это 2—3 ступени.

Первой ступенью является часть схемы электроснабжения от главной понизительной подстанции (ГПП) 110—220 кВ до распределительного пункта (РП) 6—10 кВ, второй ступенью — от РП до цеховой подстанции 6—10/0,38—0,66 кВ; в случае необходимости третьей ступенью — от крупной цеховой подстанции до небольшого ТП без сборных шин и аппаратов на стороне высокого напряжения.

Схема электроснабжения строится таким образом, чтобы все ее элементы постоянно были под нагрузкой. Благодаря этому уменьшаются потери электроэнергии и увеличивается надежность электроснабжения, так как находящиеся длительно в «холодном» резерве кабель или трансформатор могут оказаться в нужный момент неисправными.

Резерв закладывается в самой схеме. Это означает, что при аварии какого-либо элемента оставшиеся в работе части сети способны воспринять на себя его нагрузку путем перераспределения ее между собою. При необходимости это делается автоматически. Такой принцип резервирования без явно выраженного резерва в сети и в трансформаторах заложен во всех схемах описанных ниже.

В распределительных сетях почти всюду применяются раздельная работа линий и раздельная работа

трансформаторов, так как при параллельной работе увеличиваются токи к. з. и усложняются коммутация и защита. При выходе из работы одного из этих элементов второй воспринимает на себя нагрузку ответственных потребителей, причем в необходимых случаях это может быть сделано автоматически (с помощью АВР). Автоматика позволяет также произвести разгрузку подстанций от неответственных потребителей на время аварийного режима, если каждая питающая линия или трансформатор (с учетом перегрузки) не рассчитаны на полное резервирование.

Имеются две основные схемы распределения энергии— радиальная и магистральная, но часто на разных ступенях электроснабжения применяются и смешанные схемы. Та или другая схема применяется в зависимости от числа и взаимного расположения цеховых подстанций или других электроприемников по отношению к питающему их пункту. При этом учитываются также стоимость разных вариантов, расход кабеля, способы выполнения сети и др. Обе эти схемы при надлежащем их выполнении можно применить для обеспечения надежности электроснабжения при питании электроприемников любой категории.

#### а) Радиальные схемы

Радиальные схемы распределения электроэнергии применяются главным образом в тех случаях, когда нагрузка расположена в различных направлениях от центра питания. Они могут быть двухступенчатыми или одноступенчатыми.

Одноступенчатые схемы применяются главным образом на малых предприятиях, на которых распределяемая мощность и территория невелики. На больших и средних предприятиях применяются как одноступенчатые, так и двухступенчатые схемы. Одноступенчатые радиальные схемы на таких предприятиях применяются для питания крупных сосредоточенных нагрузок (насосные, компрессорные, преобразовательные агрегаты, электропечи и т. п.) непосредственно от центра питания (ГПП, ТЭЦ и т. п.). А для питания небольших цеховых подстанций и электроприемников высокого напряжения применяются двухступенчатые схемы, так как нецелесообразно загружать основные энергетические центры предприятия

(ГПП, ТЭЦ) большим числом мелких отходящих линий.

При двухступенчатых радиальных схемах применяются промежуточные распределительные пункты (РП), от которых и питаются распределительные сети второй ступени. Вся коммутационная аппаратура устанавливается на РП, а на питаемых от них цеховых подстанциях предусматривается преимущественно глухое (без выключателей, разъединителей и других коммутационных аппаратов) присоединение трансформаторов. Иногда применяется выключатель нагрузки или разъединитель. От каждого РП питаются обычно 4—5 цеховых подстанций.

Радиальные схемы с числом ступеней более двух громоздки и нецелесообразны, так как при этом усложняются коммутация и защита; иногда они применяются при развитии предприятия и при необходимости добавления новых подстанций или для питания отдельных периферийных подстанций.

При радиальных схемах широко применяется секционирование всех звеньев системы электроснабжения — от ГПП и ТЭЦ до сборных шин низкого напряжения цеховых подстанций и цеховых силовых распределительных пунктов. На секционных аппаратах предусматриваются несложные схемы АВР. Это значительно повышает надежность питания.

Крупные подстанции и распределительные пункты (РП) питаются не менее чем двумя радиальными линиями, которые обычно работают отдельно, каждая на свою секцию; при выходе из работы одной из них другая автоматически берет на себя всю нагрузку электроприемников первой и второй категории. Если каждая линия не рассчитана на полную мощность всей подстанции, то принимаются меры к разгрузке подстанции от неотвечественных потребителей на время аварийного режима.

На рис. 4 показана двухступенчатая радиальная схема распределения электроэнергии по одному из районов крупного предприятия, одна из ГПП которого подключена к глубокому вводу 110 кВ. Каждый из РП питается двумя линиями 10 кВ (сеть первой ступени). На второй ступени электроэнергия распределяется между двухтрансформаторными или однострансформаторными

цеховыми 777. Резервирование электроприемников 1-й категории на однострансформаторных подстанциях осуществляется перемычками 400 в между ближайшими 777. Предусматривается глубокое секционирование и

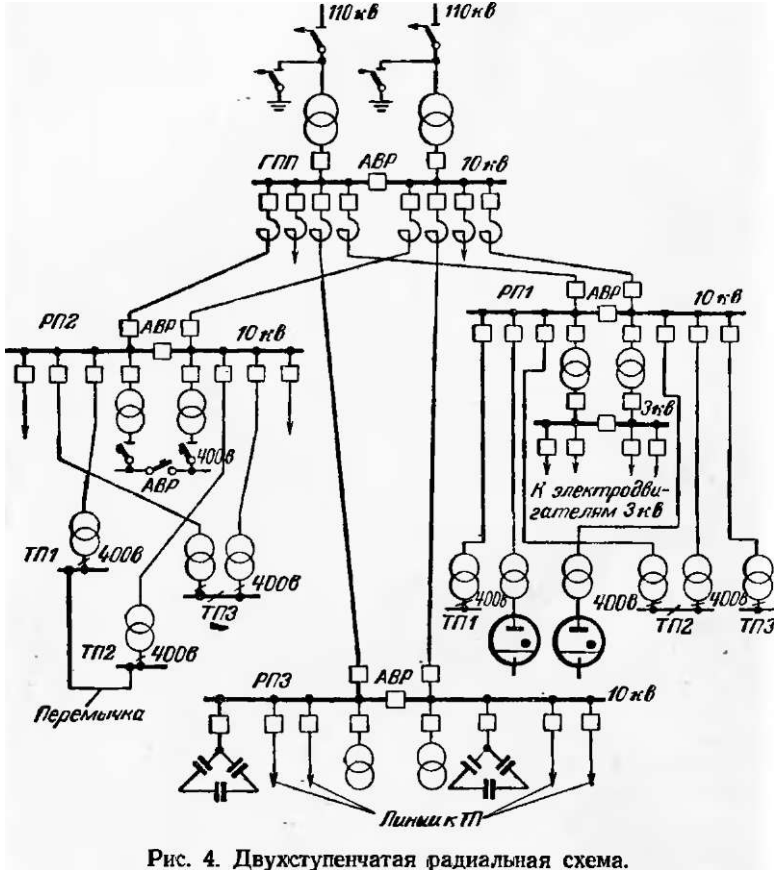


Рис. 4. Двухступенчатая радиальная схема.

АВР на всех ступенях от ГПП до шин низкого напряжения цеховых подстанций. К РП1 приключена подстанция 10/3 кВ для питания группы электродвигателей 3 кВ.

На очень крупных подстанциях применяются мощные вводы, состоящие из многих кабелей, и сборные шины из нескольких секций. Одна из таких подстанций пред-30

ставлена на рис. 5. Ее сборные шины разделены на три секции по числу вводов. Предусмотрено АВР секционных выключателей. К средней секции приключены наиболее ответственные электроприемники, питание которых необходимо обеспечить при любых условиях. Цеховые подстанции двухтрансформаторные, с возможностью АВР на напряжении 400 е.

Иногда питание распределительных пунктов производится от двух разных источников. В этом случае-распределение нагрузок между последними производится в зависимости от их мощности, удаленности, экономичности и других условий. Источники маломощные и неэкономичные или удаленные, как правило, служат только для резервирования.

Радиальные схемы питания РП- и подстанций с резервированием при помощи общей резервной магистрали, заходящей поочередно на все подстанции, или же при помощи резервных перемычек высокого напряжения применяются редко и в тех случаях, когда необходимо ввести аварийное питание от другого источника питания при полном выходе из работы основного источника. С точки зрения расхода кабелей и затрат такая схема выгодна при близком расположении подстанций друг от друга и при значительной удаленности их от питающего цент-па.

Для штатия электроприемников 1-й и 2-й категорий применяются двухтрансформаторные цеховые подстанции; каждый трансформатор питается отдельной линией по блочной схеме. Линии и трансформаторы рассчитываются на питание всех нагрузок при нормальном режиме и ответственных нагрузок (1-я и 2-я категории) в аварийных условиях, когда выходит из работы одна линия или трансформатор. Если нет точных данных о категориях электроприемников, каждая линия и каждый трансформатор выбираются на 60—70% суммарной на т-узки всей подстанции. Тогда при аварии они с учетом допустимой перегрузки трансформаторов обеспечат пигшие всех ответственных электроприемников.

На стороне вторичного напряжения при этой схеме часто применяется АВР секционного автомата. Схема получается четкая, надежная и недорогая.

Если же в данном цехе преобладают электроприемники 3-й категории, то применяются однотрансформа-

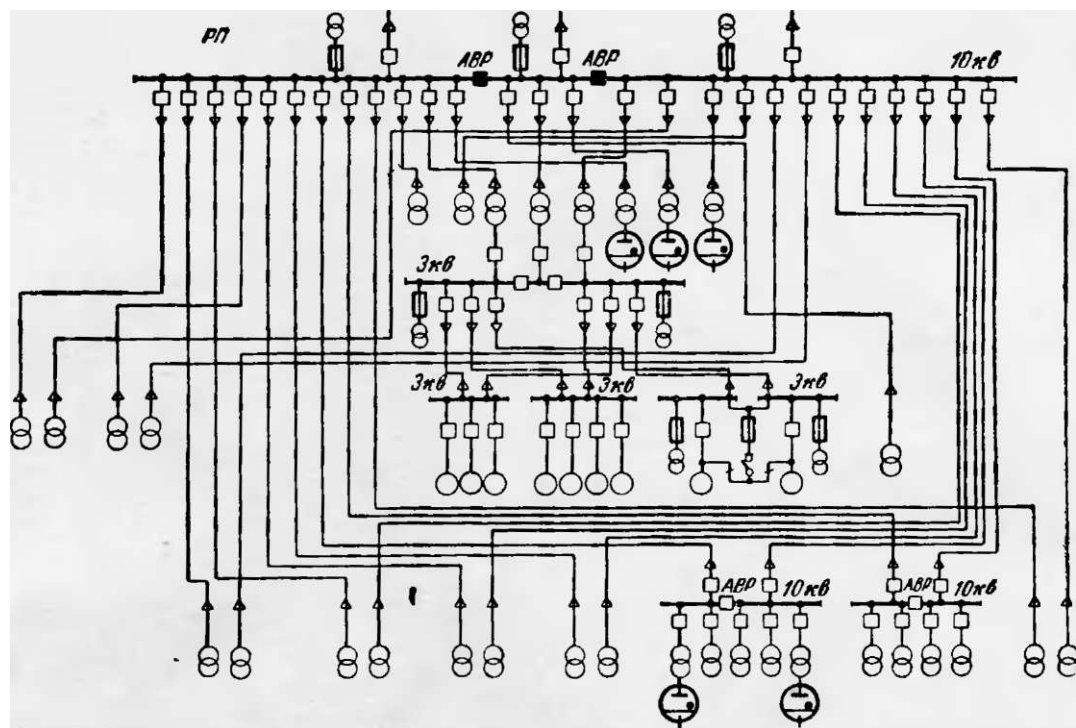


Рис. 5. Схема радиального питания цеховых подстанций от крупного РП с тремя секциями шин.

торные подстанции. В этих случаях взаимное резервирование небольших групп ответственных нагрузок, присоединенных к этим подстанциям, целесообразно осуществлять при помощи кабельных перемычек между соседними подстанциями (рис. 4). Пропускная способность этих перемычек обычно составляет не более 15–20% нагрузки трансформатора. При схеме блока трансформатор — магистраль низкого напряжения такое резервирование очень просто, дешево и надежно выполняется при помощи шинных нормально разомкнутых перемычек между концами питательных магистралей соседних трансформаторов. При перемычках низкого напряжения одновременно с трансформаторами резервируются также и питающие их линии высокого напряжения.

Кроме того, наличие резервных перемычек дает возможность полного отключения нескольких цеховых подстанций в периоды малых нагрузок, что позволяет уменьшить потери холостого хода трансформаторов, улучшить режим работы установки и повысить ее коэффициент мощности.

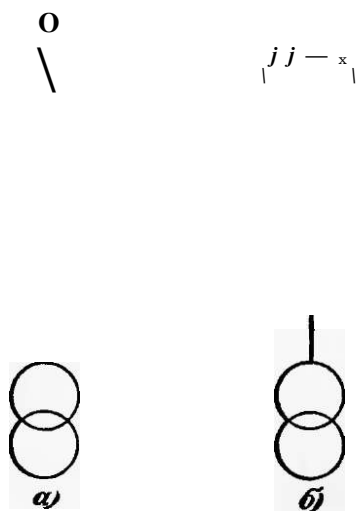
Обособленно расположенные удаленные небольшие однострансформаторные подстанции питаются по одиночной радиальной линии без резервирования по высокому напряжению (рис. 6,а), если при этом отсутствуют электроприемники первой категории и возможен быстрый ремонт поврежденной линии, например воздушной или кабельной, проложенной в канале.

Питание обособленных подстанций ответственного назначения производится по двухкабельной линии с разъединителями на каждом кабеле (рис. 6,б). При нормальном режиме работает только один кабель, второй отключен со стороны приемного конца, но находится под напряжением в постоянной готовности к включению; он включается только после отсоединения с двух сторон поврежденного рабочего кабеля. Если же кабели рассчитаны на прохождение тока короткого замыкания, то они оба находятся под постоянной нагрузкой; при аварии сначала отключается вся линия, а затем находится и отсоединяется разъединителями поврежденный кабель и вся нагрузка переводится на исправный кабель. При этом варианте потери электроэнергии получаются меньшими.

При построении радиальных схем распределения электроэнергии нужно учитывать необходимость рационального использования распределительных устройств. Нецелесообразно подключать маломощные линии (например, к трансформаторам 100—1 000 кВа), к отдельной камере распределительного устройства, особенно если это дорогостоящая комплектная камера КРУ или реактированная

*РП 6-Ю ив*

*РЛ6~10кВ*



**Рис. 6. Радиальное питание обособленных однитрансформаторных подстанций.**

линия. Такие линии нужно группировать и присоединять к одному выключателю. На рис. 7 приведена схема распределения электроэнергии, где две радиальные или магистральные линии подключены к одному общему выключателю. Схема рис. 7 строится таким образом, чтобы каждая цеховая двухтрансформаторная подстанция питалась от двух разных линий (радиальных или магистральных), подключенных к разным секциям РП. На стороне низкого напряжения предусматривается устройство АВР секционного автомата. Следовательно, при повреждении одной из линий вся нагрузка автоматически

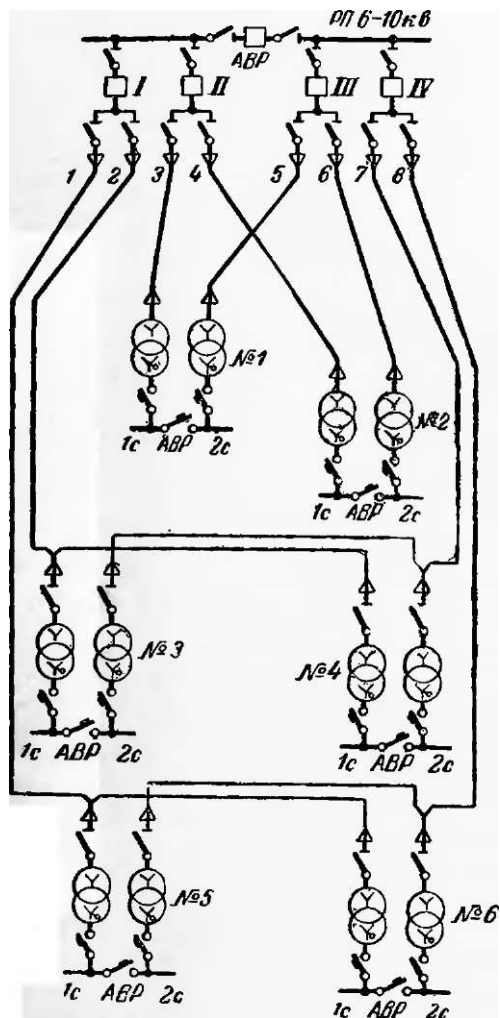


рис. 7. Схема распределения энергии с подключением двух радиальных или двух магистральных линий к общему выключателю.

воспринимается другой линией, что учитывается при выборе сечения обеих линий.

На реактированных подстанциях к одному реактору может присоединяться до 4 линий, каждая из которых имеет свой выключатель, селективно<sup>1</sup> отключающий поврежденную линию без нарушения работы остальных. На рис. 8 показана схема с применением групповых реакторов на линиях, отходящих от ГПП к распределительным пунктам. К одному реактору подключены две линии, питающие разные секции разных РП. При любой аварии обеспечивается питание обеих секций РП. Благодаря наличию АВР на секционном выключателе РП питание потребителей, приключенных к поврежденной линии, автоматически восстанавливается в любом случае. Токопроводы 6—10 кВ на этой схеме подключены непосредственно к трансформаторам через отдельные выключатели. Благодаря этому разгружаются вводные выключатели, создается независимое питание токопроводов от прочих потребителей, подключенных к сборным шинам, и тем самым повышается общая надежность электроснабжения.

#### б) Магистральные схемы

При магистральных схемах электроэнергия подается от основного энергетического узла или центра питания предприятия (ТЭЦ, ГПП) непосредственно к цеховым распределительным и трансформаторным подстанциям. В результате происходит децентрализация распределения электроэнергии и иногда отпадает необходимость в промежуточном распределительном пункте. В этом заключается главное и очень существенное преимущество магистральных схем распределения энергии. Они также более удобны и экономичны, чем радиальные схемы, при необходимости выполнения резервирования подстанций от другого источника в случае выхода из работы основного питающего пункта.

В отношении экономии цветного металла, уменьшения потерь электроэнергии и сокращения числа ячеек на питающем центре магистральные схемы не имеют преимуществ по сравнению с радиальными схемами на первой ступени распределения электроэнергии. По

<sup>1</sup> Селективно — значит избирательно.

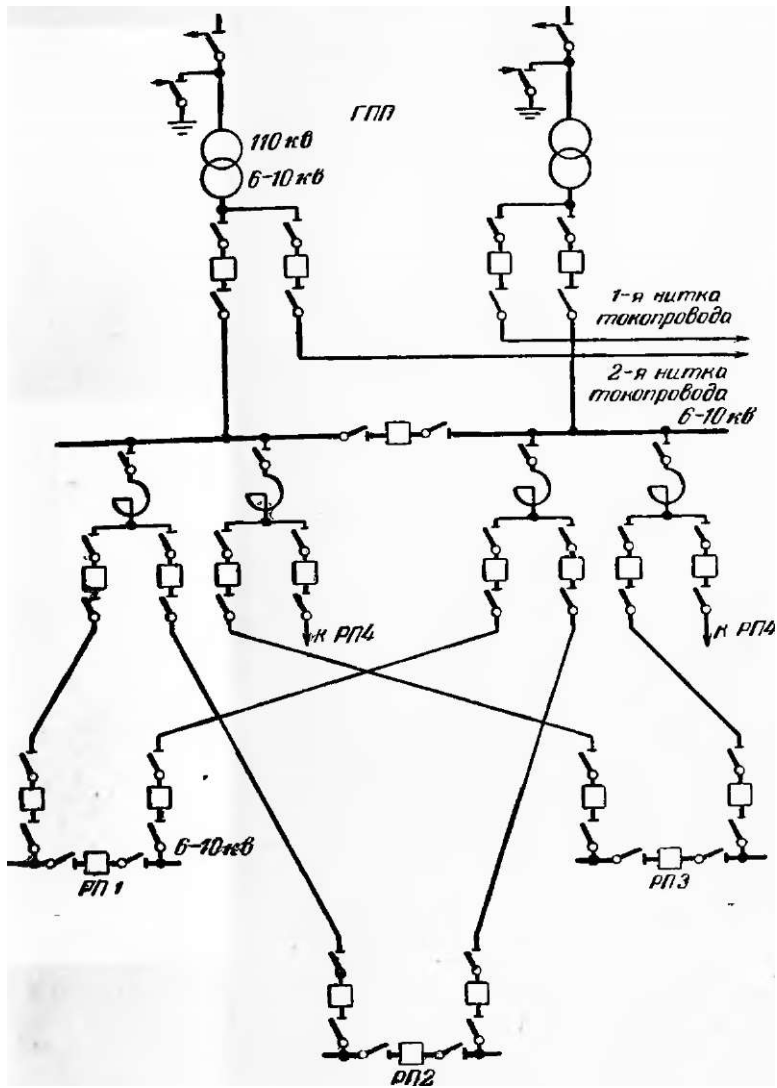


Рис. 8. Радиальная схема с групповыми реакторами.

сравнению с одноступенчатыми радиальными схемами, а также с радиальными схемами на второй ступени распределения, магистральные -схемы эти "преимущества имеют. Они позволяют лучше загрузить при нормальном режиме кабели, сечиие которых было выбрано по экономической плотности тока или по току к. з. Как известно, сечение кабеля выбирается с учетом протекания по нему тока короткого замыкания. Оно всегда больше сечения, нужного для радиальных линий малой мощности при прохождении нормального рабочего тока. У магистральных же линий, к которым подключается несколько подстанций, благодаря более полной их загрузке сечение кабеля, необходимое при нормальном режиме, приближается к сечению, выбираемому по условиям короткого замыкания.

Магистральные схемы позволяют также сэкономить число камер на РП, так как к одной магистральной линии присоединяется несколько подстанций. Последнее очень важно при применении дорогих комплектных^ выкатных камер КРУ.

При некоторых видах магистральных схем имеет место усложнение схем коммутации при присоединении цеховых подстанций по сравнению с радиальными схемами.

Магистральные схемы наиболее целесообразны при распределенных нагрузках при таком взаимном расположении подстанций на территории проектируемого объекта, когда линии от источника питания до потребителей электроэнергии имеют наиболее прямое направление, без длинных обходов, поворотов и т. д.

По степени надежности электроснабжения магистральные схемы можно подразделить на две основные группы.

В первую группу входят простые магистральные схемы — одиночные (рис. 9,а) и кольцевые. Эти схемы, как правило, уступают радиальным схемам в отношении надежности электроснабжения и удобства эксплуатации. Поэтому они применяются главным образом для питания подстанций малой мощности, потребители которых могут быть отнесены к третьей категории.

Одиночные магистрали без резервирования применяются в тех случаях, когда можно допустить перерыв в питании на время, необходимое для отыскания, отклю-

чения и восстановления поврежденного участка магистрали, что удобно, например, при воздушных магистралях. При кабельных магистралях их трасса должна быть доступна для ремонта кабелей в любое время года, что

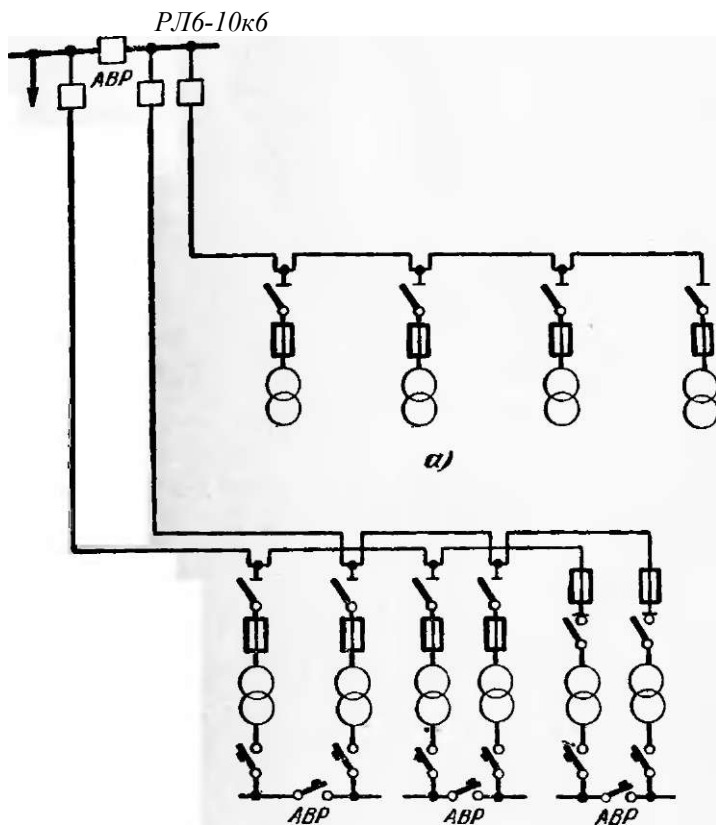


Рис. 9. Магистральные схемы с односторонним питанием.  
а — одиночные, б — „дойные“.

возможно, например, при прокладке в каналах, туннелях и т. п.

Надежность схемы с одиночными магистралями можно повысить, если питаемые ими одотрансформаторные подстанции расположить таким образом, чтобы возмож-

но было осуществить частичное резервирование по связям низкого напряжения между ближайшими подстанциями. Для этого применяется схема, показанная на рис. 10, на которой близкорасположенные однотрансформаторные подстанции питаются от разных одиночных магистралей. Это дает возможность частичного взаимного резервирования этих подстанций по связям низкого напряжения, так же, как и при радиальных схемах распределения энергии. Такие усовершенствованные магистральные схемы можно применять и для электроприемников первой категории, если величина последних невелика — не более 15—20%'

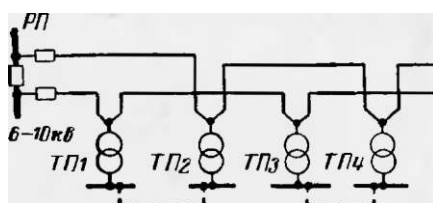


Рис. 10. Одиночные магистрали с частичным резервированием питания по связям вторичного напряжения.

Одиночные магистрали с глухими отпайками, т. е. без разъединителей на входе и выходе магистрали, применяются главным образом лишь на воздушных линиях. На кабельных линиях глухое присоединение может быть применено лишь для питания неответственных подстанций мощностью, как правило, не выше 100—400 *кВа*, в отношении которых допустимы длительные перерывы в питании. Если одиночные магистрали снабдить общей резервной магистралью, которая поочередно заходит на концевые подстанции, питаемые рабочими магистралями, то надежность всей схемы повышается и перерыв в питании определяется только временем, необходимым для отыскания и отключения поврежденно-го участка магистрали и присоединения резервной магистрали. Такие схемы можно допустить для питания потребителей второй категории. К одной магистрали обычно присоединяется не более 4—5 подстанций, мощность каждой из которых находится в пределах 630—

1 000 ква. Недостатком этой схемы является неиспользование в нормальных условиях резервной кабельной магистрали, и поэтому она не «находит широкого применения».

Кольцевые магистрали на промышленных предприятиях применяются сравнительно редко.

Ко второй группе магистральных схем относятся более сложные схемы, с двумя и более параллельными сквозными магистралями. Такие схемы надежны и могут быть применены для питания электроприемников любой категории.

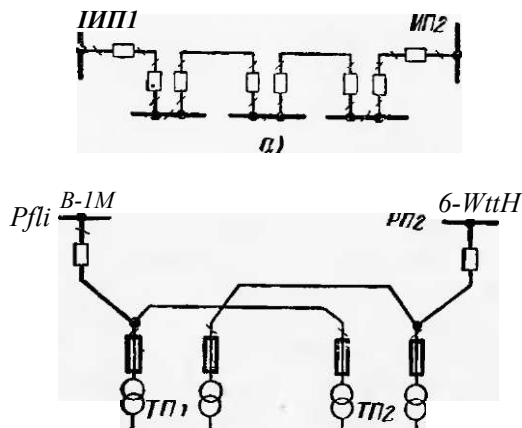
Схемы распределения электроэнергии с двойными сквозными магистралями применяются на подстанциях с двумя секциями сборных шин или на двухтрансформаторных подстанциях без сборных шин высокого напряжения (рис. 9,б). Секции шин или трансформаторы при нормальном режиме работают отдельно, а в случае повреждения на одной из магистралей все подстанции переключаются на магистраль, оставшуюся в работе. Такие переключения в большинстве случаев делаются автоматически при помощи АВР на секционном масляном выключателе или на секционном автомате (см. рис. 11,б).

При таком способе резервирования не требуется разъединителей на входе и выходе магистральной линии. Это упрощает схему коммутации и конструктивное выполнение подстанций, что особенно важно для комплектных подстанций заводского изготовления, изготавливаемых по схеме без сборных шин высокого напряжения.

На рис. 11 показаны одиночные и двойные магистрали с двусторонним питанием, иначе называемые «встречными» магистралями. Они применяются в тех случаях, когда необходимо питание от двух независимых источников или по условиям обеспечения надежности электроснабжения, или же по специальным требованиям. Часто один из источников является основным, и от него нормально происходит питание, а второй — маломощный, удаленный или неэкономичный — является аварийным. В этих случаях выключатель в конце магистрали, приключенной ко второму источнику, нормально разомкнут и включается только при отключении магистрали от основного источника. Включение может быть предусмотрено как вручную, так и автоматически. Если же нормально могут быть использованы оба источника, то для

уменьшения потерь электроэнергии целесообразно держать их постоянно под нагрузкой. В этом случае деление магистрали производится примерно посередине, на одной из промежуточных подстанций.

Для экономии ячеек и аппаратов на питающем центре применяется присоединение двух линий к одному выключателю или к одному реактору.



**Рис. 11. Магистральные схемы с двусторонним питанием.**

а — одиночная; б — двойная при отсутствии сборных шин высокого напряжения на цеховых подстанциях.

На рис. 12 дана схема магистрального питания РП с подсоединением двух магистралей к одному общему реактору, причем каждая магистраль имеет отдельный выключатель. Каждая секция РП получает питание от разных магистралей, которые в свою очередь приключены к разным секциям источника питания (в данном случае ГПП). При повреждении одной из магистралей ее выключатель отключается, но при этом секции всех приключенных к ней РП автоматически переключаются на вторую магистраль при помощи устройства АВР секционного выключателя. Таким образом схема обеспечивает бесперебойность питания.

На рис. 7 показано магистральное питание двух-трансформаторных цеховых подстанций № 3, 4, 5, 6 с подключением двух магистралей к одному общему выключателю на распределительном пункте. Трансформаторы двухтрансформаторных цеховых подстанций пи-

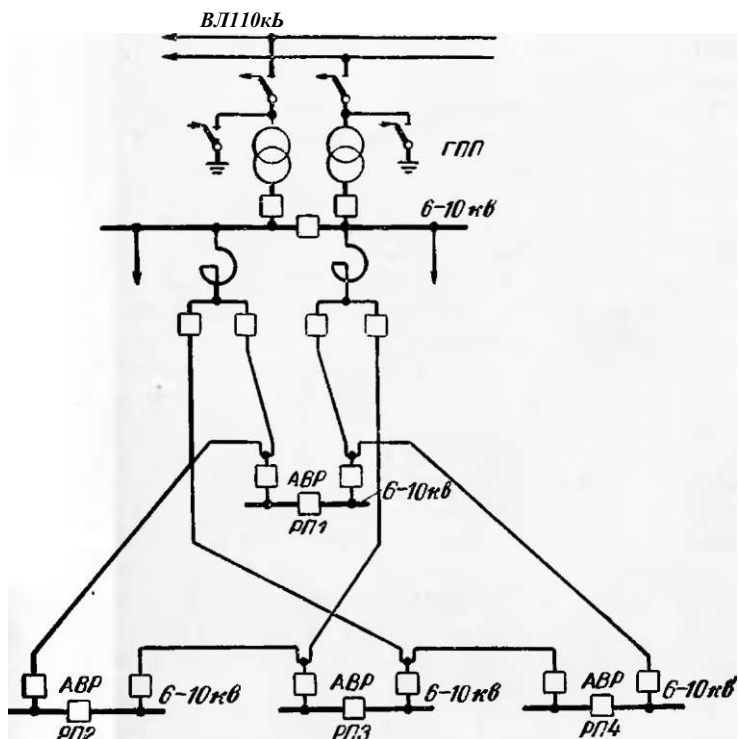


Рис. 12. Магистральная схема питания РП с одним реактором на две магистрали.

таются от разных магистралей, приключенных к разным секциям РП. При повреждении одной из магистралей, например 1, отключается и другая неповрежденная магистраль 2, подключенная к их общему выключателю 1. Но перерыва в электроснабжении цеха не будет, так как АВР секционного автомата на стороне низкого напряжения «переключит потерявшие питание секции 1с подстанций № 3, 4, 5 и 6 к другим секциям 2с этих под-

станций, которые продолжают получать питание от неповрежденных магистралей — 7 и 8.

После выявления поврежденной магистрали 1 она отключается разъединителями с двух сторон. Присоединенные к ней трансформаторы были ранее отключены автоматически со стороны низкого напряжения. Затем включается выключатель 1 и восстанавливается питание по неповрежденной магистрали 2, к которой присоединены подстанции № 3 и 4, а обе секции подстанций № 5 и 6 продолжают питаться по магистрали 8 до устранения повреждения магистрали 1. Такие схемы экономят дорогостоящие камеры комплектных распределительных устройств (КРУ) и в то же время обеспечивают вполне надежное электроснабжение и могут применяться для питания электроприемников любой категории.

При передаче больших потоков энергии кабельные магистрали дороги, трудновыполнимы, требуют больших затрат дефицитных материалов и т. д. Поэтому на энергоемких предприятиях теперь широко применяется на первых ступенях электроснабжения магистральная система передачи и распределения электроэнергии при помощи голых токопроводов 6—10 кв. Магистральные токопроводы целесообразны при наличии на предприятии мощных узлов нагрузки и возможности осуществления магистрального их питания, т. е. в тех случаях, когда число направлений основных потоков электроэнергии минимально. Эти условия в наибольшей мере имеют место в энергоемких отраслях промышленности — цветной и черной металлургии, химическом производстве, — с большим числом часов работы.

Система канализации электроэнергии при помощи токопроводов значительно расширяет область применения магистральных схем. Она целесообразна при передаче на напряжении 6—10 кв больших мощностей в одном направлении при длине до 1,5—3 км и при токах от 1,5 до 6 ка. Направление токопроводов выбирается таким образом, чтобы они проходили через зоны размещения основных электрических нагрузок, в центре которых располагаются распределительные пункты, присоединяемые к токопроводам. При удачном выборе трассы токопроводов удается обеспечить питание от них примерно 70—75% всех электрических нагрузок предприятия. Остальные потребители, расположенные вне зоны

прохождения токопроводов, получают питание или непосредственно от основных центров питания (ГПП, ТЭЦ), или же от присоединенных к токопроводу распределительных пунктов (РП) при помощи выносных подстанций, питаемых кабельными линиями.

На рис. 13,е приведен пример трассы магистрального токопровода 6—10 /се, который обеспечивает питание основных потребителей данного района предприятия. Трасса имеет ломаный характер, что объясняется стремлением, с одной стороны, охватить питание наибольшего числа электронагрузок и, с другой стороны, наличием на территории промышленных зданий и других заводских коммуникаций.

В ряде случаев токопроводы высокого напряжения используются одновременно и для распределения энергии между подстанциями предприятия, расположенными по их трассе, и в качестве связей между различными источниками питания на данном промышленном предприятии (например, ТЭЦ—ГПП или ГПП1—ГПП2) для взаимного их резервирования.

Обычно применяются так называемые «двухниточные» (или сдвоенные) токопроводы для увеличения их пропускной способности и обеспечения большей надежности питания потребителей. На крупных предприятиях прокладываются два-три двухниточных токопровода по разным трассам через зоны размещения основных электрических нагрузок. Одна из таких схем приведена на рис. 13,о. Она обеспечивает возможность отключения для ревизии или ремонта любой секции шин вторичного напряжения ГПП без перерыва питания потребителей. При аварийном отключении одного из трансформаторов на ГПП или при его ревизии вся нагрузка распределяется между оставшимися тремя трансформаторами двух ГПП путем соответствующих включений секционных выключателей на токопроводах и на секциях шин РП. На ответвлениях от токопроводов к РП поставлены реакторы для ограничения мощности короткого замыкания (примерно до 150—200 *Mva*) и сохранения необходимой величины остаточного напряжения на токопроводе при повреждении на сборных шинах или на отходящих линиях РП. На ГПП или ТЭЦ реактируются лишь линии, отходящие к отдельным подстанциям; реактирование самих токопроводов обычно

не предусматривается, и на их головных участках устанавливаются мощные масляные выключатели (типа МГГ).

На менее крупных предприятиях применяются одиночные двухниточные токопроводы, которые также в большинстве случаев связывают между собой ГПП и ТЭЦ (рис. 13,б) или две ГПП.

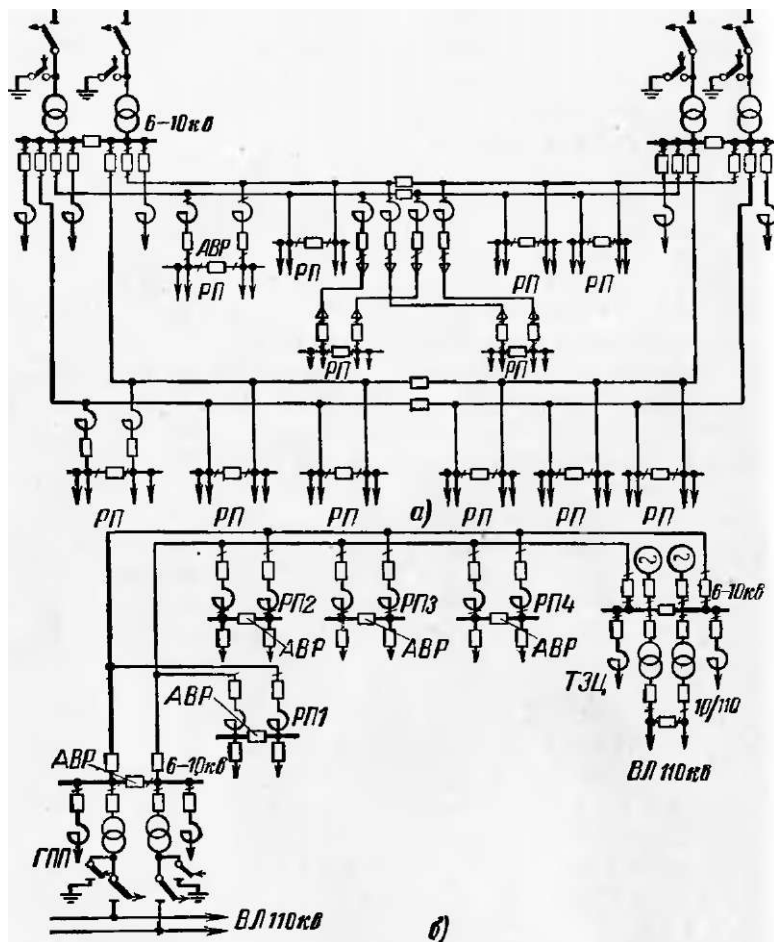
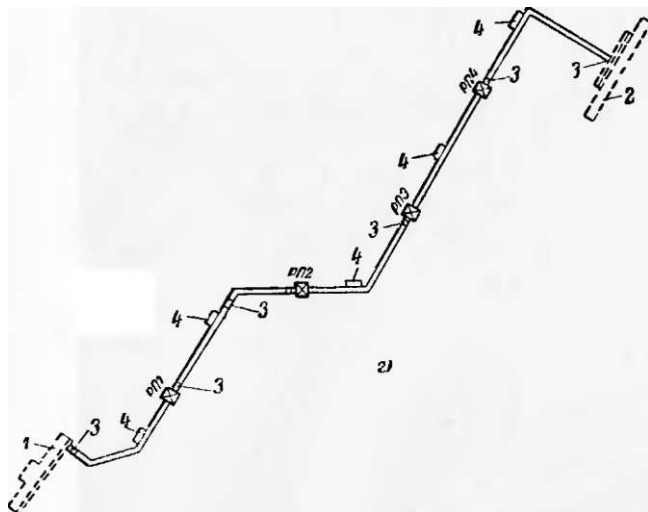
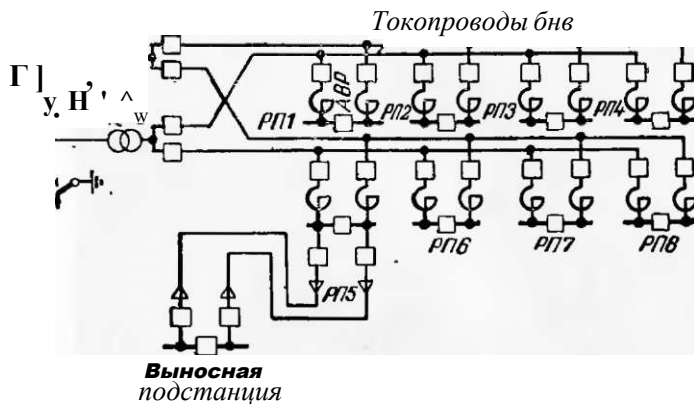


Рис. 13. Магистральная схема распределения энергии

а — с двумя токопроводами; б — с одним токопроводом; в — Рлок трансфор  
1 — ГПП; 2 — ТЭЦ; 3 — вытяжная шахта;

На рис. 13,е показано электроснабжение района крупного предприятия по блочной схеме трансформатор—токопровод, без сборных шин только на первичном напряжении 110 кв, но и на вторичном 6 кв. От



с применением мощных голых токопроводов.  
 матор— токопровод; 2 — пример трассы магистрального токопровода 6—10 кв;  
 4 —этрничная камера.

каждого трансформатора питаются два токопровода перекрестно, т. е. разные нитки каждого токопровода питаются от разных трансформаторов. Схема исключительно простая и недорогая и в то же время вполне надежная, так как при наличии АВР на РП сохраняется бесперебойное питание при любой аварии: в трансформаторе, на токопроводе, на линии 110 кв.

Если значительная часть энергии распределяется от ГПП помимо токопроводов, через сборные шины 6—10 кв, то целесообразно осуществить подключение токопроводов непосредственно к трансформатору, минуя сборные шины, через отдельный выключатель, для создания независимого питания токопроводов (см. рис. 8) и для уменьшения номинального тока выключателей на вводах.

Схемы распределения энергии с помощью токопроводов обеспечивают полную надежность и бесперебойность питания и пригодны для потребителей любой категории. Они не представляют затруднений в отношении выполнения релейной защиты и широкого внедрения автоматизации и диспетчеризации электроснабжения. Секции распределительных пунктов (РП) при нормальном режиме работают отдельно. На секционных выключателях этих РП предусматривается устройство АВР, которое обеспечивает бесперебойность питания при повреждении одного из токопроводов. Разработана простая и надежная быстродействующая защита токопроводов.

При применении на первой ступени магистральных токопроводов на второй ступени распределения энергии от РП К цеховым подстанциям применяются в зависимости от местных условий обычные магистральные или радиальные схемы.

### в) Комплексные схемы

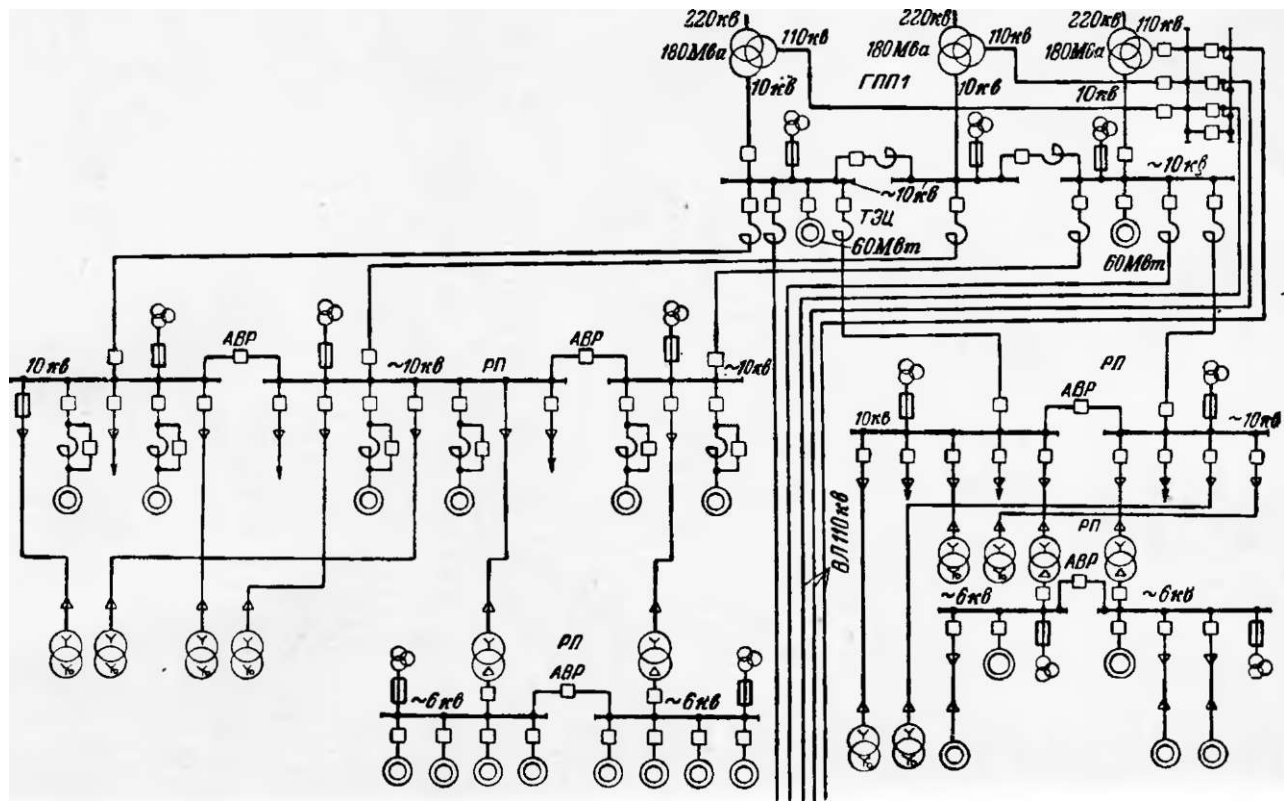
На предприятиях, особенно крупных, обычно не ограничиваются какой-либо одной из описанных выше схем. Для электроснабжения отдельных частей таких объектов иногда целесообразно применение различных типов схем, дающих наиболее экономичное и рациональное решение всей системы электроснабжения в целом. Так, например, на первой ступени распределения энергии при

кабельных сетях обычно применяются радиальные схемы, а при голых токопроводах — магистральные. Дальнейшее же распределение энергии по отдельным участкам от РП к цеховым подстанциям и двигателям высокого напряжения на таких предприятиях производится как по радиальным, так и по магистральным схемам. Однако не следует допускать большого разнообразия схем на одном объекте, так как это является нежелательным по соображениям унификации конструктивных решений и удобства эксплуатации.

На рис. 14 в качестве примера показана часть полной схемы электроснабжения крупного промышленного комбината. Основное питание производится от большой ГПП с тремя трехобмоточными трансформаторами мощностью до 180 *Мва*, 220/110/10 *кв*. Кроме того, имеется ТЭЦ с двумя турбогенераторами мощностью по 60 *Мет*, связанная с ГПП на напряжении 10 *кв*. Распределение электроэнергии на первой ступени производится несколькими способами. Очень крупные электропечи и удаленная крупная подстанция Г/7/72 питаются по линиям глубокого ввода 110 *кв*. Крупные РП питаются токопроводами 10 *кв*, с реакторами на ГПП. Прочие РП питаются реактированными кабельными линиями. На второй ступени основное распределение электроэнергии выполнено радиальными кабельными линиями. Для питания электродвигателей средней мощности введено промежуточное напряжение 6 *кв*. Подстанции 10/6 *кв*, служащие для питания электродвигателей высокого напряжения, присоединены по блочной схеме линия 10 *кв*—трансформатор 10/6 *кв*.

На рис. 15 показана полная схема электроснабжения небольшого предприятия, но с очень ответственными нагрузками первой категории. Распределение электроэнергии по предприятию происходит от двух РП, каждый из которых связан с двумя независимыми источниками А и Б. Одиночная схема сборных шин на РП секционирована. На секционном выключателе предусмотрен АВР.

Ответственные цеховые подстанции — двухтрансформаторные. Трансформаторы питаются от разных РП, расположенных на ближайшем расстоянии Друг от друга, по блочной схеме линия—трансформатор без сборных шин и без выключателей на стороне 6—10 *кв*. Если



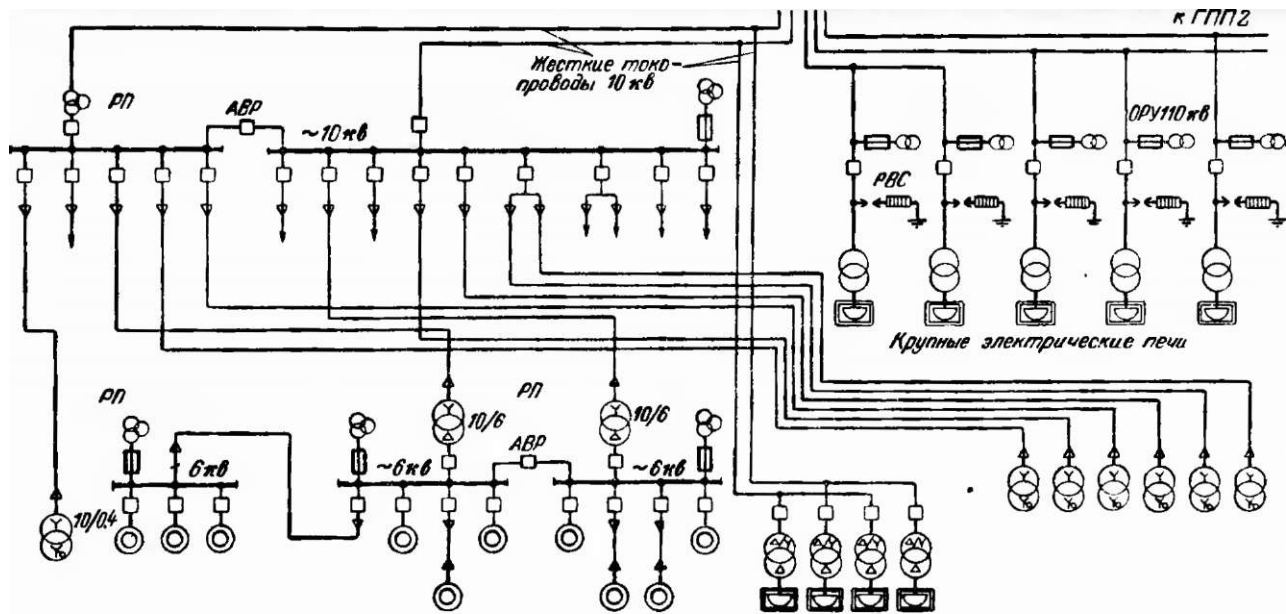


Рис. 14. Схема электроснабжения крупного промышленного комбината.

бы РП были значительно удалены друг от друга, то питание цеховых подстанций более целесообразно было бы производить от разных секций одного РП. Шины 0,4 кВ цеховых подстанций секционированы с применением АВР на секционном автомате.

Менее ответственные цеховые подстанции — однотрансформаторные и питаются также от разных РП, от

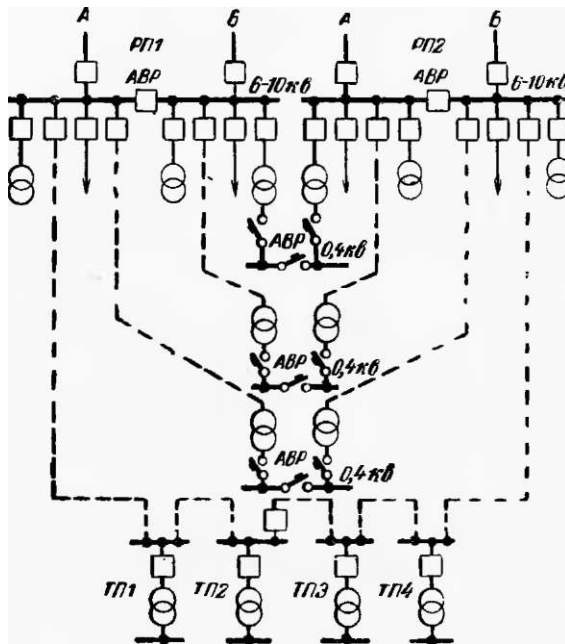


Рис. 15. Схема электроснабжения небольшого предприятия с ответственными нагрузками.

кабельного кольца, нормально разомкнутого посередине (выключателем, установленным на 7772).

Схема рассчитана таким образом, чтобы при аварийном режиме на любом участке было автоматически обеспечено питание нагрузок 1-й и 2-й категорий с учетом перегрузочной способности линий и трансформаторов и с отключением неответственных потребителей при затянувшемся аварийном режиме. В схеме все трансформаторы и кабели постоянно нагружены и

работают в экономичном режиме с минимально возможными потерями электроэнергии и расходом кабелей.

## **6. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ С ЗАГРЯЗНЕННОЙ И АГРЕССИВНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ**

На предприятиях с загрязненной и агрессивной окружающей средой предусматриваются мероприятия, предотвращающие действие различных выделяемых производств вредностей на изоляцию и открытые токоведущие части.

В «Санитарных нормах проектирования промышленных предприятий (СН245-63)» установлено пять классов производств по степени выделения вредностей, действующих на людей, и соответственно этому пять санитарных защитных зон. Применительно к этой классификации Государственный производственный Комитет по энергетике и электрификации СССР установил минимальные расстояния от источников загрязнения (например, от мартеновского цеха, производства магния, ферросплавных электропечей и т. п.), в пределах которых нельзя располагать открытые электроустановки с нормальной изоляцией. Эти расстояния названы «минимальным защитным интервалом».

В первой половине этого интервала, в которой имеет место наиболее интенсивное загрязнение (третья степень загрязнения), можно ставить только закрытые распределительные устройства (ЗРУ). Во второй половине интервала, со второй степенью загрязнения, можно сооружать открытые распределительные устройства (ОРУ) при напряжении не более 330 кВ, но применять при этом электрооборудование с усиленной изоляцией (или аппараты на следующий класс напряжения). К ОРУ, сооружаемых в зонах со второй степенью загрязнения, как правило, подводится токопровод для возможности обмывки изоляции. Так как усиленная изоляция пока не освоена заводами, выпускающими электрическую аппаратуру, то и во второй половине интервала пока разрешается применение ЗРУ. Сказанное иллюстрируется табл. 1 и рис. 16,а.

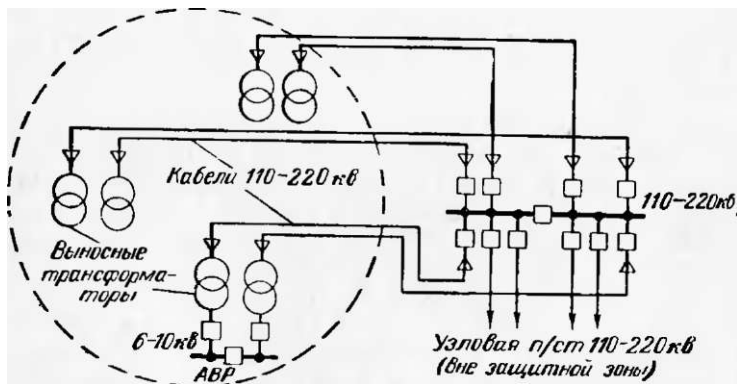
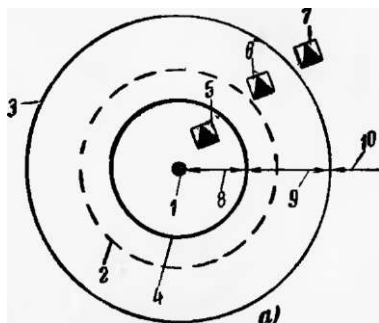
Таблица 1

род производства	л. о S и 5Э" O V K, C 5 o U u t; ° c Ф П о СК	Лн Its Mi Ka я о" £ S * я" i * J St за я о g ага о K Х я K O	Типы распределительных устройств, которые следует применять в зависимости от расстояния, м, до источника загрязнения окр; » ошей среды		
			ОРУ с нормальной изоляцией	ОРУ 3—330 кв С усиленной изоляцией или ЗРУ	ЗРУ
Химические производства	I	1 000	>1500	750—1 500	<750
	II	500	>80С	400—800	<400
	III	300	>500	250—500	<250
	IV	100	>150	75—150	<75
	V	50	>100	50—100	<50
Металлургические машиностроительные и металлообрабатывающие производства	I	1 000	>1500	750—1 500	<750
	II	500	>700	350—700	<Г350
	III	300	>300	150—300	<150
	IV	100	>100	50—100	<50
	V	50	>50	25—50	<25
Добыча рудных и нерудных ископаемых	I	1 000	>1000	500—1 100	<500
	II	500	>500	250—500	<250
	III	300	>300	150—300	<150
	IV, 1—2	100	>150	75—150	<75
	IV, 3	100	>300	150—300	<150
Производство строительной промышленности	I	1 000	> 1500	7 <sup>с</sup> 0—1 500	<750
	II	500	> 80)	400—8С0	<400
	III, I	300	>500	250—500	<250
	III, 2—4	300	>300	150—300	<150
	IV, 1—5,	300	>300	150—300	<150
	7, 8	100	>100	50—100	<50
	IV, 6, 9 V	50	>50	25—50	<25
Текстильное производство	II	500	>750	375—750	<375
	III	300	>300	150—300	<150

Лишь за пределами минимального защитного интервала разрешается эксплуатация ОРУ с нормальной изоляцией.

ОРУ на напряжение 500 кВ и выше можно сооружать только за пределами минимального защитного интервала, т. е. в зоне с первой степенью загрязнения.

Для открытых электроустановок тепловых электростанций, имеющих эффективную систему золоулавливания,



б)

Рис. 16. Электроснабжение предприятий с агрессивной и загрязненной средой.

а — зоны загрязнения; б — схема электроснабжения; / — источник загрязнения; 2 — санитарно защитная зона (по СН-245-63); 3 — минимальный защитный интервал между источником загрязнения и ОРУ с нормальной изоляцией; 4 — половина минимального защитного интервала; 5 — ЗРУ; 6 — ОРУ с усиленной изоляцией; 7 — ОРУ с нормальной изоляцией; 8 — зона III степени загрязнения; 9 — зона II степени загрязнения; 10 — зона I степени загрязнения.

ния и высокие дымовые трубы, величины минимально защитных интервалов и исполнение изоляции с точки зрения уносов самой тепловой электростанции не нормируются.

Для электроснабжения особо важных промышленных объектов, расположенных в зонах интенсивных загрязнений, целесообразно иметь два источника, расположенных с противоположных сторон площадки объекта.

Наибольшее число производств, относящихся к первому классу (более 50 производств), по выделяемым вредностям относится к химической промышленности. Далее идет металлургическая промышленность (9 производств).

Необходимо иметь в виду, что приведенные в табл. 1 расстояния относятся только к тем промышленным загрязнениям, которые вредны для изоляции электроустановок. В каждом отдельном случае это выясняется с технологами; производственные выделения, не влияющие отрицательно на изоляцию, не должны учитываться. Так, например, на заводах по производству синтетического волокна капрон открытые распределительные устройства могут размещаться в пределах защитной зоны, так как выделения паров динила и капролактама в этих производствах не влияют на изоляцию электрооборудования.

На предприятиях с загрязненной и агрессивной средой нужно предусматривать такую схему электроснабжения, при которой в пределах санитарно-защитной зоны (т. е. в зоне с наибольшим выделением различных вредностей) открыто размещается минимум электрооборудования, голых токоведущих частей и контактов.

Указанным условиям в наибольшей степени удовлетворяет радиальная кабельная схема питания выносных трансформаторов ПО—220 кв, которые размещаются в непосредственной близости от питаемых ими нагрузок. Все коммутационные аппараты этих трансформаторов устанавливаются на узловой распределительной подстанции 110—220 кв, размещаемой вне санитарно-защитной зоны с наветренной стороны. На этой же подстанции осуществляется и управление трансформаторами. В санитарно-защитной зоне остаются только сами трансформаторы с закрытыми муфтами. Выводы вторичного напряжения 6—Ю кв трансформаторов выполняются

шинами в закрытых коробах или кабелями. Открытых голых токоведущих частей, контактов и аппаратов нет. Такая схема представлена на рис. 16,6. Она радикально решает проблему электроснабжения предприятий с агрессивной средой.

## 7. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ КОРотКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Токи короткого замыкания в распределительных сетях промышленных предприятий обычно ограничивают предельными величинами порядка  $15\text{--}20\text{ ка}$ , чтобы избежать установки громоздких и дорогих аппаратов и прокладки кабелей больших сечений. Для этого применяют раздельную работу вводов и трансформаторов, так как при параллельном их включении сопротивление цепей уменьшается и ток короткого замыкания увеличивается. Если же этих мероприятий недостаточно, то в необходимых случаях прибегают к реактивированию, которое выполняется при помощи индивидуальных или групповых реакторов.

Применение индивидуальных реакторов на отходящих линиях распределительных устройств вторичного напряжения ГПП (рис. 17,а) вызывает удорожание и вносит усложнение в конструкцию подстанций, поэтому применяют схемы с групповыми реакторами (рис. 17,б). Обычные многоамперные групповые реакторы требуются

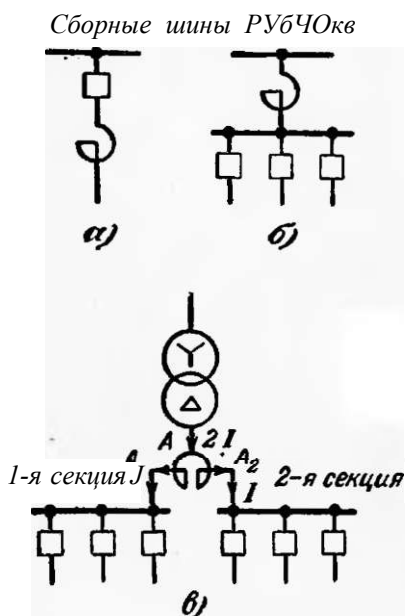


Рис. 17. Схемы с реакторами.  
а — с индивидуальным реактором; б — с групповым реактором; в — с расщепленным реактором.

с очень большой реактивностью, доходящей до 15%, что вызывает в течение суток большие колебания напряжения, связанные с изменением нагрузок. Поэтому в качестве групповых лучше применять расщепленные реакторы (рис. 17,е), при которых колебания напряжения получаются примерно в 2 раза меньше, чем при обычных групповых реакторах.

Расщепленные реакторы в отличие от обычных имеют две ветви и три вывода: два крайних  $A_1$  и  $A_2$ , рассчитанных каждый на ток  $I$ , и средний  $A$ , рассчитанный на ток  $2I$ . Ветви реактора магнитно связаны и расположены одна над другой, направление витков обмоток одинаковое. При равных токах  $I$  в обеих ветвях падение напряжения в одной ветви  $AU$  составит:

$$AV = iAL / \sqrt{2} \quad \text{«Л!»,}$$

где  $M$  — взаимная индуктивность.

Значит, если индуктивное сопротивление ветви обычного реактора равно индуктивному сопротивлению ветви расщепленного реактора, то потери напряжения в каждой ветви будут примерно в 2 раза меньше, чем потери в обычном реакторе. В этом основное преимущество расщепленных реакторов.

При расщепленных (или сдвоенных) реакторах необходимо равномерно распределять нагрузки между секциями шин, питаемыми от ветвей сдвоенного реактора. Рекомендуется принимать номинальный ток каждой ветви сдвоенного реактора не менее 0,675 номинального тока трансформатора или ввода, питающего обе секции. Это обеспечивает работу сдвоенного реактора даже в том случае, если одна его ветвь будет загружена на 67,5% полного тока обеих ветвей, а другая ветвь только на 32,5%. Нужно отметить, что при эксплуатации неравномерность нагрузки секций может увеличиться в связи с изменением или перераспределением нагрузок.

С целью ограничения тока короткого замыкания применяются также трансформаторы с расщепленными обмотками. Они имеют повышенное напряжение короткого замыкания, что при определенных условиях позволяет отказаться от реактирования. Трансформатор с расщепленной обмоткой имеет две (или более) обмотки на вторичном напряжении. Эти обмотки рассчитаны на 50% номинальной мощности трансформатора (рис. 18).

Трансформаторы с расщепленными обмотками и с первичным напряжением 110 кВ изготавливаются в данное время мощностью 25, 32 и 40 Мва, а с первичным напряжением 150 кВ — мощностью 40 Мва. Вторичное напряжение расщепленных обмоток трансформаторов мощностью 25 и 32 Мва составляет 6,3/6,3 кВ, а мощно-

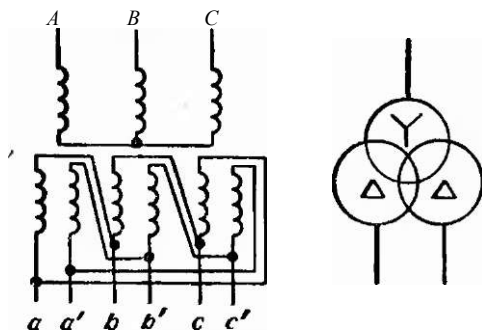


Рис. 18. Трехфазный трансформатор с расщепленными обмотками низшего напряжения.

стью 40 Мва — 6,6/6,6 и 11/11 кВ. Трансформаторы имеют автоматическое регулирование напряжения под нагрузкой  $\pm 12\%$  на восемь ступеней по 1,5%.

Экономическое сравнение варианта схемы с расщепленными трансформаторами с вариантом установки групповых сдвоенных токоограничивающих реакторов показало преимущество первого варианта. Кроме того, при трансформаторах с расщепленными обмотками упрощается схема и уменьшается объем строительно-монтажных работ по сравнению со схемой с групповыми и тем более с индивидуальными реакторами.

## 8. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ И СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Установлены следующие нормативные значения коэффициента мощности на шинах 6—10 кВ приемных подстанций промышленных предприятий.

1. При питании от генераторов электростанций на генераторном напряжении. . . . . 0,85
2. При питании от районных сетей НО—220 кв и от сетей 35 кв, питающихся от электростанций. . . . . 0,93
3. При питании от сетей 35 кв, питающихся от районных сетей 110—220 кв. . . . . 0,95

Из этих данных видно, что чем ближе предприятие к генераторам электростанций, тем меньшим может быть принято его средневзвешенное (но не ниже коэффициента мощности генератора) значение коэффициента мощности, так как при этом уменьшаются реактивные потери в сетях и трансформаторах.

Естественные значения коэффициента мощности на предприятиях почти всегда меньше нормативных, и приходится принимать меры к их увеличению. Для этой цели в первую очередь используются способы, средства и мероприятия, которые не требуют специальных компенсирующих устройств. К их числу относятся: правильный выбор электродвигателей и трансформаторов, обеспечивающий наиболее полную их загрузку; применение ограничителей холостого хода машин; установка на электродвигателях переключателей с треугольника на звезду; широкое внедрение синхронных электродвигателей вместо асинхронных и др. Однако одних только этих мероприятий в большинстве случаев бывает недостаточно, и приходится дополнительно применять специальные компенсирующие устройства, что необходимо учитывать при разработке схем электроснабжения промпредприятий.

В качестве таких устройств применяются главным образом батареи силовых (косинусных) конденсаторов, подключаемые к электросети параллельно. Этот способ называется «поперечной» компенсацией.

Необходимая мощность компенсирующего устройства при поперечной компенсации определяется по формуле

$$Q_{Ky} = P_{cp} (\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi_2),$$

где  $\operatorname{tg} \phi_1$  — тангенс угла сдвига фаз до компенсации;  
 $\operatorname{tg} \phi_2$  — тангенс угла сдвига фаз после компенсации до одной из величин коэффициента мощности, приведенных выше;

$P_{cp}$  — среднегодовая активная нагрузка предприятия, *квт*.

•Полученную по этой формуле мощность конденсаторов необходимо рационально разместить в сетях высокого и низкого напряжений, исходя из условий наибольшего снижения потерь активной мощности от реактивных нагрузок. Это предопределяет установку относительно большей мощности конденсаторов в местах наибольших реактивных нагрузок и большего сопротивления питающих линий и, следовательно, обеспечивает эффективное повышение уровня напряжения в тех частях сети, где это напряжение ниже расчетного уровня.

Чрезмерное дробление необходимой мощности конденсаторных установок приводит к значительному увеличению удельных затрат на отключающую аппаратуру, измерительные приборы и пр. на один установленный реактивный киловольтампер батареи. Поэтому не рекомендуется применение батарей конденсаторов единичной мощностью менее 400 *квар* на напряжение 6—10 *кв*, если ее присоединение выполняется с помощью отдельного выключателя. Если же присоединение конденсаторов осуществляется через общий выключатель с силовым трансформатором или другим электроприемником, то оптимальная единичная мощность батареи понижается примерно до 100 *квар*.

В сетях низкого напряжения по этой же причине не рекомендуется дробить необходимую мощность конденсаторных батарей до величины менее 30 *квар*.

Если при размещении конденсаторов в сетях расчетная мощность батареи на отдельных участках получается менее указанных величин, то на этих участках конденсаторы не устанавливаются. Вместо этого соответственно (пропорционально) увеличивается мощность других близко расположенных конденсаторных батарей.

При решении вопроса о целесообразном размещении конденсаторов приходится считаться с двумя основными факторами: с одной стороны, степень разгрузки элементов сети от реактивной мощности и, с другой стороны, степень использования и относительной стоимостью конденсаторной установки, т. е. стоимостью одного установленного реактивного киловольтампера.

Так, например, при размещении конденсаторных батарей на ГПП или на ЦРП потребуется меньшая мощность конденсаторов, удельная стоимость 1 *квар* будет самая низкая. Но при этом от реактивной мощности раз-

грузаются только питающие линии и трансформаторы ГПП и, следовательно, для самого предприятия установка конденсаторов почти никакого эффекта не дает, потери во внутриводской распределительной сети и в цеховых трансформаторах не уменьшаются, сечение отдельных участков сети и мощности цеховых трансформаторов не могут быть уменьшены. Поэтому централизованная компенсация на ГПП не рекомендуется, лишь в отдельных случаях при наличии технико-экономических обоснований это может оказаться оправданным.

С другой стороны, индивидуальная компенсация у каждого электроприемника с плохим коэффициентом мощности дает идеальное решение в отношении разгрузки всех элементов системы электроснабжения предприятия и в отношении саморегулирования выработки реактивной электроэнергии, но при этом получается очень плохое использование столь дефицитного оборудования, как конденсаторы, поскольку они автоматически отключаются одновременно с электроприемником. В целом по всему предприятию потребуются значительная установленная мощность конденсаторов, а удельная стоимость одного установленного реактивного киловольтампера получится высокой. Поэтому индивидуальная компенсация также не рекомендуется и может быть допущена к применению лишь в редких случаях, например у крупного электроприемника (электродвигатель, сварочный аппарат) с очень низким коэффициентом мощности и с очень большим числом часов работы в году. При таком совпадении обстоятельств индивидуальная компенсация может оказаться оправданной и технически и экономически.

Из сказанного вытекают приводимые ниже общие рекомендации по размещению конденсаторов в сетях низкого и высокого напряжений промышленных предприятий.

Конденсаторы напряжением 0,22—0,66 кВ рекомендуется устанавливать в цехах у групповых распределительных щитков либо присоединять к соответствующим точкам магистральных цеховых токопроводов, если условия окружающей среды не препятствуют такой установке. При этом, разумеется, следует соблюдать все требования ПУЭ и правил пожарной безопасности. Централизованная установка конденсаторов напряже-

нием 0,22—0,66 *кв* на подстанциях с присоединением к распределительному щиту низкого напряжения или к головному участку шинной цеховой магистрали нецелесообразна с точки зрения уменьшения потерь и стоимости установки. Такая установка может быть применена лишь в тех случаях, когда размещение конденсаторов в цехе недопустимо по условиям пожарной опасности и в то же время имеется необходимость в разгрузке силового трансформатора на подстанции. Но в этих случаях необходимо произвести уточнение целесообразной мощности конденсаторов низкого напряжения с тем, чтобы часть компенсирующей мощности присоединить к сети высокого напряжения.

Конденсаторы на напряжение 6—10 *кв* рекомендуется устанавливать либо на цеховых подстанциях, имеющих распределительное устройство 6—10 *кв*, либо на РП. При такой установке конденсаторов от реактивной мощности разгружаются питательные сети высокого напряжения и трансформаторы ГП.П, а также сеть энергосистемы.

Не рекомендуется ставить конденсаторы напряжением 6—10 *кв* на цеховых подстанциях, не имеющих распределительного устройства 6—10 *кв*, трансформаторы которых отключаются выключателями, установленными вне этой подстанции на РП.

Выбор способа компенсации и распределение компенсирующих устройств между сетями низкого и высокого напряжения, а также их размещение в соответствующих пунктах этих сетей производятся на основании технико-экономических расчетов.

Схемы присоединения конденсаторных батарей. В сетях 6—10 *кв* наиболее часто применяется схема присоединения конденсаторной батареи к шинам подстанции через отдельный выключатель или выключатель нагрузки (рис. 19,а, б). Работа батареи при этой схеме не зависит от других присоединений к шинам подстанции. Схема рис. 19,а применяется для батарей мощностью более 400 *квар*, а схема рис. 19,б — для батарей меньшей мощности. Схемы рис. 19,в, г применяются очень редко, в основном — при индивидуальной компенсации реактивной мощности электродвигателей или трансформаторов. Они дешевле схемы рис. 19,а, б, но их осуществление иногда вызывает конструктивные затруднения. Они мо-

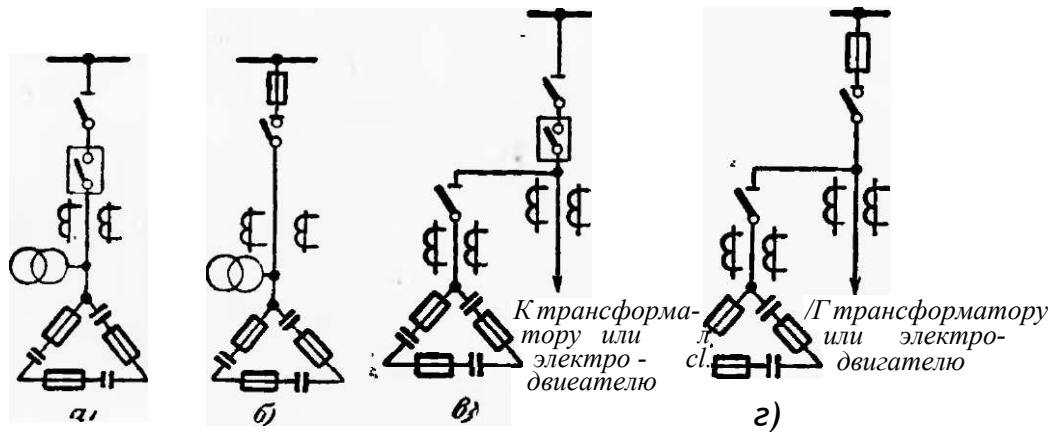


Рис. 19 Схемы присоединения конденсаторных батарей на напряжении 6—10 кВ. а — присоединение к сборным шинам подстанции через выключатель; б — то же через выключатель нагрузки и предохранитель; в — присоединение батареи через общий выключатель с трансформатором или электродвигателем; г — то же через общий выключатель нагрузки и предохранителя.

гут быть применены при установке батарей на работающей подстанции, когда нет свободной камеры и возможно присоединение только к общему с трансформатором выключателю. На ответвлении к батарее устанавливается разъединитель, дающий возможность производить ревизию или ремонт батареи, не нарушая работы электродвигателя или трансформатора.

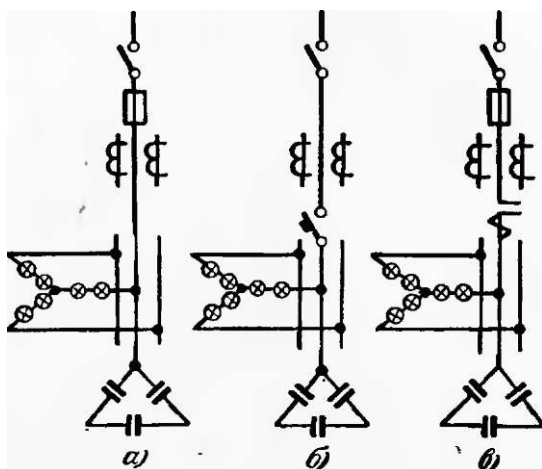


Рис. 20. Схемы присоединения конденсаторных батарей «а» напряжении 0,38—0,66 кв.

а — присоединение через рубильник и предохранитель;  
 б — присоединение через автомат; в — присоединение через рубильник, предохранитель и контактор.

На рис. 20 представлены схемы коммутации батарей конденсаторов низкого напряжения, которые главным образом присоединяются к цеховым групповым щиткам или к токопроводам низкого напряжения и лишь в отдельных случаях к токопроводам низкого напряжения цеховых подстанций. Схема рис. 20,а применяется при отсутствии автоматического регулирования или при ручном регулировании; схема рис. 20,б может применяться как для автоматических регулируемых батарей, так и при отсутствии такого регулирования; схема рис. 20,в предназначена для автоматически регулируемых батарей.

Крупные конденсаторные установки секционируются. Это дает возможность ручного или автоматического регулирования реактивной мощности, а также возмож-

ность поочередного осмотра или ремонта секций без полного отключения все;" конденсаторной установки.

Число секций, необходимых для регулирования конденсаторных батарей, зависит от требуемого количества ступеней регулирования. Разделение на секции различной мощности дает больше ступеней регулирования, чем при секциях одинаковой мощности, но требует значительно большего числа операций при регулировании и увеличивает износ коммутационных аппаратов. При автоматическом регулировании усложняется схема регулирования. По этим причинам лучше применять разделенные батареи на сравнительно небольшое число секций с одинаковой мощностью присоединенных к ним конденсаторов. Практика показала, что почти во всех случаях достаточно не более трех ступеней регулирования при трех секциях одинаковой мощности. На предприятиях, где нагрузки двух дневных смен мало отличаются друг от друга и снижение происходит только в третью (ночную) смену, обычно бывает достаточно двух секций, что сильно упрощает все устройство.

Включение и отключение секций конденсаторных батарей  $\epsilon$ —10 кв при мощности более 400 квар производится выключателями, а при мощности до 400 квар может производиться также и выключателями нагрузки (ВН-17), причем для автоматического регулирования эти аппараты должны иметь дистанционное управление и быть рассчитаны на броски тока при включении секций на параллельную работу. Если деление конденсаторной батареи на секции делается при помощи разъединителей, то последние снабжаются блокировкой с выключателем шеей батареи, которая не позволяет производить оперирование разъединителями под нагрузкой.

Включение и регулирование батарей напряжением до 1000 в выполняется рубильниками, контакторами или автоматами; авторегулирование—только контакторами или автоматами. При параллельном подключении батареи или секции к работающим батареям или секциям возникают очень кратковременные броски тока значительной величины.

В некоторых случаях может быть применена продольная емкостная компенсация (ПК), которая обеспечивает автоматическое непрерывное регулирование напряжения. При продольной компенсации кон-

денсаторы в отличие от поперечной компенсации включаются в цепь не параллельно, а последовательно (рис. 21), поэтому их емкостное сопротивление  $x_c$  вычитается из индуктивного сопротивления  $x_L$  и эквивалентное сопротивление  $X_d$  линии уменьшается:

$$X_d = X_L - X_c$$

Благодаря этому уменьшаются потери напряжения  $\Delta U$  в линии:

$$Pr + Q(x_L - x_c)$$

где  $P$  и  $Q$  — активная и реактивная мощности, *квт* и *квар*;

$r$  и  $x_L$  — активное и индуктивное сопротивления линии, *ом*;

$x_c$  — емкостное сопротивление батареи конденсаторов продольной компенсации.

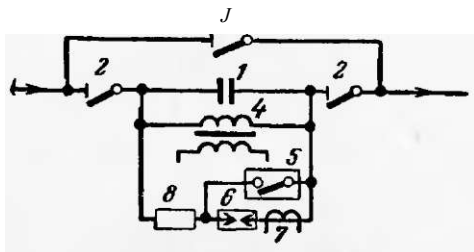


Рис. 21. Схема включения батареи конденсаторов ПК.

1 — батарея; 2 и 3 — разъединители; 4 — трансформатор напряжения; 5 — выключатель; 6 — разрядник; 7 — трансформатор тока; 8 — сопротивление.

Из этой формулы можно получить необходимое емкостное сопротивление  $x_c$  батареи ПК, если задаться величиной  $\Delta U$ .

Следовательно, при продольной компенсации повышается напряжение на приемном конце линии и повышается коэффициент мощности в начале линии.

Мощность батареи продольной компенсации подсчитывается по формуле

$$Q_c = QI^2 x_c$$

где  $I$  — максимальный рабочий ток линии,

Б\*

Напряжение  $U_K$  на зажимах батареи ПК определяется из выражения

$$U_K = I x_c.$$

Напряжения  $\mathcal{E}/_K$  в ряде случаев оказываются меньше напряжения данного участка сети. В этих случаях силовые конденсаторы батареи ПК выбираются на номинальное напряжение, меньшее напряжения сети, и устанавливаются на изоляторах.

Следует иметь в виду, что при применении продольной компенсации (ПК) увеличивается ток короткого замыкания за местом установки конденсаторной батареи, так как ПК снижает реактивное сопротивление. Поэтому предельная мощность батареи ПК ограничивается величиной тока короткого замыкания, допустимой по условиям устойчивости аппаратов, шин и кабелей данного участка сети.

При коротком замыкании за батареей ПК возникает кратковременное перенапряжение. Для ограничения величины перенапряжения применяется (рис. 21) искровой разрядник **6**, включаемый параллельно конденсаторной батарее ПК. В цепи разрядника имеется добавочное сопротивление **8**, которое необходимо для гашения разрядного тока, чтобы не оплавился разрядник. Выключатель **5** служит для оперативного отключения и включения батареи путем ее шунтирования и дешунтирования; он включается также при срабатывании разрядника **6**. Вместо выключателя для шунтирования может применяться контактор.

Отсоединение батареи ПК от сети производится посредством разъединителей **2** после включения разъединителя **3**.

Продольная компенсация пока еще не нашла широкого применения на предприятиях, и этот способ компенсации еще недостаточно проверен в эксплуатации, хотя длительная работа батарей ПК на длинных линиях **6 кВ**, питающих буровые установки нефтепромыслов, дала вполне удовлетворительные результаты. Это позволило отказаться от применения более высокого напряжения на этих линиях.

Продольная компенсация находит применение в энергосистемах для дальних и сверхдальних электропередач напряжением до **500 кВ** с целью повышения их устойчи-

вости и, следовательно, пропускной способности. Продольная компенсация может оказаться целесообразной на предприятиях при нагрузках с большой составляющей реактивной мощности, либо при наличии электроприемников, вызывающих набросы большой отстающей реактивной мощности, например ионных преобразователей для реверсивных станков, электросварки, дуговых электропечей.

## 9. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Качество электрической энергии в электрических сетях трехфазного переменного тока характеризуется отклонениями от установленных норм напряжения и частоты, колебаниями напряжения и частоты, а также зависит от несинусоидальности формы кривой напряжения и от смещения нейтрали и несимметрии напряжений.

Большое значение имеет качество напряжения у электроприемников, т. е. поддержание на их зажимах уровней напряжения, необходимых для наиболее экономичной их работы, а также подавление резких и частых колебаний напряжения.

Так, например, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) отклонения напряжения у электродвигателей не должны выходить за пределы  $\pm 5\%$ ; в отдельных случаях допускается повышение до  $+10\%$ ; у электроламп повышение напряжения не должно быть более  $+5\%$ , а снижение не более  $-2,5\%$  для внутреннего рабочего освещения предприятий и не более  $-5\%$  для освещения жилых домов.

Отклонения величины напряжения от установленных уровней как в сторону понижения, так и в сторону повышения приводят к ухудшению работы электрооборудования, а в некоторых случаях к преждевременному его износу и выходу из строя.

• При понижении напряжения у асинхронных двигателей уменьшается скорость, возрастает ток, происходит перегрев и быстрый износ изоляции, затрудняются их пуск и самозапуск под нагрузкой.

При понижении напряжения ухудшается работа электротермических печей сопротивления и качество электросварки, а в сталеплавильных электропечах удлиняется

время плавки. Очень чувствительны к изменениям напряжения косинусные конденсаторы, реактивная мощность которых пропорциональна квадрату подводимого напряжения.

Большие требования к постоянству напряжения предъявляют источники света, которые резко изменяют свои характеристики в зависимости от уровня напряжения. Так, например, при снижении напряжения у ламп на 2,5% световой поток уменьшается на 9%. Повышение напряжения на 10% вызывает сокращение срока службы ламп до 30—35% нормального.

Существуют два критерия, характеризующие изменения (качество) напряжения в электроустановках: отклонения напряжения и колебания напряжения.

*Отклонениями напряжения* называются медленно протекающие изменения напряжения, которые вызываются изменениями режимов напряжения центра питания (ЦП) и режимов нагрузок сети.

*Колебаниями напряжения* называются быстротекающие, кратковременные изменения напряжения, возникающие при резком нарушении нормального режима, вызываемого работой электроприемников, к числу которых относятся синхронные двигатели преобразовательных агрегатов прокатных станов, дуговые электропечи, ртутные выпрямители для питания электроприводов и др.

Отклонения или колебания напряжения  $\delta(U_c)$  в какой-либо точке  $o$  сети определяются выраженной в процентах разницей между фактическим  $U_c$  и номинальным  $U_n$  напряжениями. Они определяются по формуле

$$\delta U = \frac{U_c - U_n}{U_n} \cdot 100\%$$

Если для данного момента времени  $t$  известны отклонения напряжения в начале линии  $\delta U_n$  и потери напряжения в линии  $\Delta U$ , то отклонение напряжения в конце линии будет равно:

$$\delta U_{zl} = \delta U_n - \Delta U$$

Согласно ПУЭ, на шинах электростанций и шинах вторичного напряжения подстанций энергосистемы с первичным напряжением 35 кВ и выше при нормальном режиме работы должно обеспечиваться так называемое встречное регулирование напряжения в пределах 0- $\delta$ + $\delta$ % номинального напряжения сети.

Встречным называется такое регулирование, при котором в часы максимума на шинах центра питания (ЦП) поддерживается напряжение, повышенное не менее чем на 5% и до 10%, если последнее допустимо по отклонениям напряжения у ближайших потребителей. Этим самым компенсируются повышенные шотери напряжения при максимальных нагрузках. При снижении нагрузки до 30% (и ниже) максимума на шинах ЦП поддерживается номинальное напряжение.

Для улучшения режима напряжений на предприятиях применяются различные средства регулирования напряжения, выбор которых базируется на анализе режимов напряжения на шинах центра (питания (ГПП, ТЭЦ) и режимов нагрузок линий, отходящих от этого центра.

Основным средством регулирования напряжения являются устанавливаемые на ГПП трансформаторы или автотрансформаторы с автоматическим регулированием под нагрузкой. Во многих случаях этого бывает достаточно, благодаря применению глубоких вводов и дроблению ГПП, располагаемых в центрах нагрузок соответствующих групп потребителей.

На существующих ГПП, имеющих трансформаторы, не регулируемые под нагрузкой, предусматриваются вольтодобавочные трансформаторы.

Если режим работы электроприемников различен и они имеют разную удаленность от ГПП, а также если имеются электроприемники, особо чувствительные к отклонениям напряжения, то предусматриваются дополнительные групповые или индивидуальные средства регулирования: вольтодобавочные трансформаторы, синхронные двигатели с авторегулированием тока возбуждения, автоматически управляемые батареи конденсаторов.

Цеховые трансформаторы с регулированием под нагрузкой применяются лишь в тех случаях, когда другие средства регулирования недостаточны или неэкономичны.

Наиболее простым и дешевым способом регулирования напряжения является перестановка ответвлений на вторичных или первичных обмотках трансформаторов. Однако у трансформаторов, не имеющих регулирования под нагрузкой, ответвления могут быть использованы только для сезонного регулирования напряжения. Для повседневного суточного регулирования напряжения такие трансформаторы использовать нельзя, так как

каждая перестановка ответвлений связана с отключением трансформатора и, следовательно, вызывает перерыв питания потребителей.

Для регулирования напряжения наряду с описанными способами используются средства компенсации реактивной мощности (косинусные конденсаторы, регулируемые автоматически, синхронные двигатели). Предусматривается наиболее целесообразное сочетание регулирующих и компенсирующих устройств, чтобы уменьшить расходы на регулирование.

В табл. 2 приведены номинальные напряжения ответвлений обмоток трансформаторов.

Таблица 2

Обозначения ответвлений обмоток	Номинальное напряжение ответвлений трансформаторов. КВ					
	понижающих			повышающих		
—5%	5,7	9,5	33,25	104,50	36,60	
—2,5%	—	—	34,13	107,25	37,54	
0	6	10	35	110	38,5	
+2,5%	—	—	35,87	112,75	39,46	
-1,5%	6,3	10,5	36,75	115,5	40,40	

На некоторых предприятиях имеются электроприемники с быстропеременной (ударной) нагрузкой, вызывающей большие колебания напряжения. К числу таких электроприемников относятся синхронные двигатели преобразовательных агрегатов прокатных станков, дуговые электропечи, сварочные агрегаты, ртутные выпрямители.

Электродвигатели с частыми пусками также дают недопустимые колебания напряжения в сети. ;

Ограничение влияния ударных нагрузок производится следующими методами: повышают напряжение в питающих и распределительных сетях, приближают источники питания к электроприемникам с быстропеременной нагрузкой, уменьшают реактивное сопротивление питающих линий, что, в частности, учитывается при выборе реактивности реакторов. Токопроводы проверяют на потери напряжения при ударных нагрузках, так как токопроводы имеют большую индуктивность, чем кабельные линии. Иногда для питания крупных дуговых электропечей

выделяют отдельные трансформаторы, а питание крупных синхронных двигателей с быстропеременной нагрузкой производят индивидуальными линиями непосредственно от источника питания (ГПП, ТЭЦ и др.), а не от ближайшей цеховой подстанции, чтобы толчки нагрузок не отражались на остальных потребителях этой подстанции.

В других случаях оказывается целесообразным выделить на отдельные линии или на отдельные трансформаторы питание потребителей, не терпящих толчков нагрузки, например освещение, или же питать их совместно с более «спокойными» силовыми нагрузками.

Для очень ответственных электроприемников, которые чувствительны даже к незначительным и кратковременным колебаниям напряжения, создаются сети стабильного напряжения и стабилизирующие устройства.

В электросетях СССР для поддержания номинальной частоты 50 *гц* на электростанциях устанавливаются автоматические регуляторы частоты и мощности (АРЧ и АРМ). В нормальных условиях допускаются отклонения частоты в пределах  $\pm 0,1$  ч-0,2 *гц*. В аварийных условиях при резком снижении частоты (до 47—48 *гц*) применяется автоматическая частотная разгрузка (АЧР), Производящая автоматическое отключение в порядке установленной очередности менее ответственных потребителей.

## **10. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В связи с применением описанных выше простых и экономичных схем электроснабжения резко возросло значение автоматики [Л. 5] во всех звеньях системы электроснабжения. Большое значение приобрели телемеханизация и диспетчеризация электроснабжения крупных заводов [Л. 6].

Наиболее часто в схемах электроснабжения промышленных предприятий применяется автоматическое включение резерва (АВР). При помощи АВР (рис. 22 и 23) быстро восстанавливается электроснабжение и исключаются неправильные операции, которые могут иметь место при ручных переключениях в аварийных условиях.

Располагая устройством АВР, в большинстве случаев можно отказаться от параллельной работы линий и

параллельной работы трансформаторов и тем самым уменьшить токи короткого замыкания и упростить релейную защиту.

Наибольшее распространение на предприятиях получили устройства АВР на секционных выключателях (рис. 22, б, г). Это дает возможность в соответствии с со-

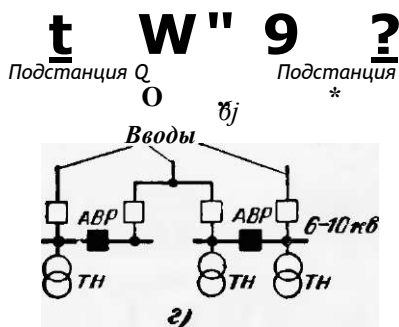
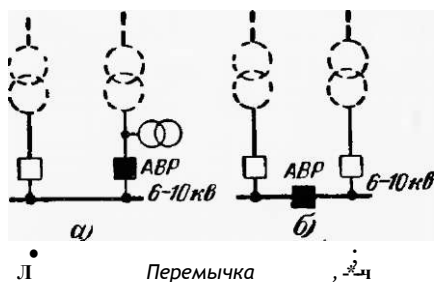


Рис. 22. Схем" автоматического включения резерва на напряжении 6—10 кВ. а — АВР ввода или трансформатора; б и г — АВР секционного выключателя; в — АВР на резервной перемычке между двумя соседними подстанциями.

временными тенденциями обеспечить отдельную работу вводов или трансформаторов. АВР резервного ввода или резервного трансформатора на стороне вторичного напряжения (рис. 22,а) применяется реже, так как в современных схемах электроснабжения избегают применять неработающие линии и трансформаторы в качестве «холодного резерва» (см. § 5).

В установках низкого напряжения применяются схемы с АВР секционного автомата (рис. 23,а), контакторные схемы (рис. 23,б, в), а также схемы с АВР отдельных ответственных потребителей низкого напряжения на цеховых силовых пунктах. Этим достигается выборочное резервирование отдельных ответственных потребителей на низких ступенях электроснабжения простейшими средствами.

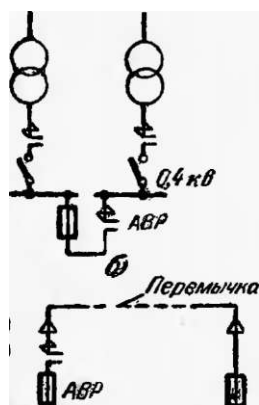
Применяется также автоматическое повторное включение (АПВ). Назначением АПВ является быстрое автоматическое восстановление питания после самоликвидации весьма кратковременных коротких замыканий в воздушных и кабельных линиях и других элементах электрических сетей. Изоляция в местах этих коротких замыканий быстро восстанавливается, и отключившийся элемент системы можно вновь включить в сеть.

Такие неустойчивые, самоликвидирующиеся короткие замыкания вызываются:

на воздушных линиях — атмосферными перенапряжениями, перекрытиями проводов птицами, случайными набросами, схлестыванием проводов;

на кабельных линиях — пробоями между жилами в кабелях и в кабельных муфтах с последующим запылением места повреждения кабельной массой, а также пе-

$\pm J2LV \ll \ll$   
aj



Подстанции 1      Подстанции 2  
Li\*,,  
бj

Рис. 23. Схемы автоматического включения резерва на напряжении 0,4 кВ. а — АВР секционного автомата; б — АВР секционного контактора; в — АВР на резервной перемычке между шинами низкого напряжения двух соседних подстанций.

рекрытиями на сборках магистральных или радиальных кабельных линий;

на токопроводах—вследствие перекрытий и по другим причинам;

на сборных шинах — коммутационными перенапряжениями и перекрытиями, неправильными операциями с разъединителями;

на трансформаторах — ложными срабатываниями газовой защиты при кратковременных толчках нагрузки;

на ртутных выпрямителях — обратными зажиганиями.

Автоматика позволяет применить простейшие схемы коммутации электрических соединений вплоть до глухого присоединения трансформаторов на стороне высокого напряжения.

Кроме того, АПВ существенно упрощает схемы коммутации электрических соединений при применении короткозамыкателей, отделителей и выключателей нагрузки.

На промышленных предприятиях обычно применяется простейшее однократное АПВ и простейшие схемы АВР с приводами на переменном оперативном токе (если они пригодны по токам к. з.).

Конкретные указания по применению автоматики приведены выше, при описании схем распределения энергии.

Телемеханизацию и автоматизацию целесообразно осуществлять комплексно для управления всеми видами энергохозяйства предприятия: электроснабжением, газоснабжением, теплоснабжением, водоснабжением, а также для управления освещением территории.

Телемеханизацию следует применять в случаях, когда она часто и эффективно используется и дает возможность существенно улучшить ведение режима электроснабжения, ускорить ликвидацию аварий и других нарушений, установить контроль за поддержанием нормальных электрических параметров (уровень напряжения, нагрузки и т. д.), уменьшить обслуживающий персонал.

В объем телемеханизации входят телеуправление, телесигнализация и телеизмерение. Приводимые ниже сведения о выборе объема телемеханизации нужно рас-

смагивать как примерные, так как они во многом зависят от местных условий.

*Телеуправление (ТУ)* обычно предусматривается только для тех элементов электроснабжения, которые необходимы для быстрого восстановления режима или для переключений, например для управления выключателями на питающих линиях и линиях связи между подстанциями при отсутствии АВР или при необходимости частых оперативных переключений; выключателями понизительных трансформаторов при необходимости производства частых оперативных переключений и т. п.

*Телесигнализация (ТС)* обычно выполняется для передачи на диспетчерский пункт сообщений:

а) о положении всех телеуправляемых объектов, линий и отдельных крупных токоприемников, которые по характеру эксплуатации должны управляться или контролироваться из цеха или с диспетчерского пункта предприятия;

б) об аварийном отключении выключателей ответственных потребителей, а также об отключении выключателей трансформаторов от внутренних повреждений, например при действии газовой или дифференциальной защиты и т. п., причем передается один общий сигнал с контролируемого пункта;

в) о замыкании на землю в сетях высокого напряжения (передается один общий сигнал с каждой головной подстанции);

г) о неисправности на контролируемом пункте (передается один общий сигнал с контролируемого пункта при различных видах повреждений);

д) о неисправности телеуправляемого трансформатора (например, при перегрузке, при перегреве или при срабатывании первой ступени газовой защиты);

е) о возникновении пожара на необслуживаемых объектах.

*Телеизмерения (ТИ)* передаются главным образом для контроля:

а) величины напряжения на питающих линиях, шинах ГПП или других ответственных элементах системы электроснабжения;

б) величины тока на линиях между подстанциями (на одном из концов), если эти линии по режиму нагрузки могут перегружаться;

в) величины тока на телеуправляемых трансформаторах при необходимости осуществления режимных переключений.

Помимо этого, для оперативного управления всеми видами энергоснабжения (электроснабжение, теплоснабжение, газоснабжение, воздухообеспечение и т. д.), с контролируемых пунктов на диспетчерский пункт следует передавать и другую необходимую информацию—о давлении пара, сжатого воздуха, потребляемой электрической мощности и т. д.

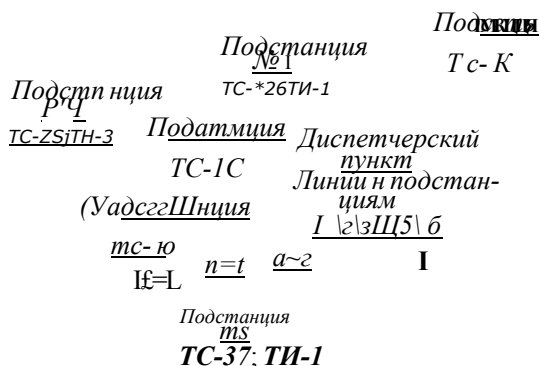


Рис. 24. Пример схемы диспетчерских связей предприятия средней мощности.

Рекомендуется применение одного объединенного диспетчерского пункта для всех видов энергоснабжения предприятия.

На рис. 24 показана схема диспетчерских связей на предприятии средней мощности, имеющем шесть подстанций. Предусмотрен ограниченный объем телемеханизации, включающий только сигнализацию (ТС), а на некоторых подстанциях также и телеизмерение (ТИ) по вызову. В качестве каналов для этого используются телефонные кабели.

При применении автоматики и телемеханики можно сократить количество дежурного персонала на подстанциях или же полностью отказаться от него. В этих случаях обслуживание осуществляется выездными бригадами.

## 1f. СПОСОБЫ КАНАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ниже приводятся краткие сведения о способах канализации электроэнергии на промышленных предприятиях, необходимые для лучшего понимания конструктивных особенностей построения систем электроснабжения.

Выбор способа канализации электроэнергии зависит от величины электронагрузок и их размещения, плотности застройки предприятия, конфигурации технологических, транспортных и других коммуникаций, параметров и расположения источников питания (мощности, числа, напряжения, удаленности), а также от уровня грунтовых вод на площадке и степени загрязненности воздуха производственными выделениями (угольная, цементная или глиноземная пыль, сажа, зола, химические выделения и т. п.).

В питающих и распределительных сетях промышленных предприятий применяются воздушные и кабельные линии 6—110 кВ и голые токопроводы 6—35 кВ.

Воздушные линии 6—10 кВ (применяются всюду, где возможна их прокладка, в частности на периферийных участках предприятий, для питания поселков и других (внеплощадочных) потребителей. Они более экономичны и не менее надежны, чем кабельные линии 6—10 кВ.

Для передачи значительных токов 1,5—6 кА на небольшие (до 3 км) расстояния экономичны голые токопроводы 6—10 кВ. При одинаковой пропускной способности жесткие токопроводы примерно в 2 раза дешевле кабелей, которые к тому же требуют для своего изготовления большего количества дефицитных материалов. Кроме того, токопроводы надежнее, так как проложенные в земле кабели могут подвергаться коррозии, а их оконцевания и соединения, как известно, являются слабыми местами.

При больших мощностях целесообразно распределять энергию на повышенных напряжениях — 35, 110, 220 кВ при помощи воздушных или кабельных линий, а при напряжении 35 кВ также и при помощи токопроводов, выполненных из стальных газопроводных труб. Магистральные воздушные линии 35 кВ с отпайками к цеховым трансформаторам, имеющим разъединители и предохранители, целесообразны на предприятиях сред-

ней мощности, в частности на металлообрабатывающих и деревообрабатывающих заводах. Возможность размещения токопроводов 6—10 кв, воздушных линий 35—220 кв и их подстанций на территории предприятия решается в каждом отдельном случае при составлении генплана, с учетом характера застройки площадки и прохода по ней всевозможных коммуникаций.

Если по условиям размещения электрических нагрузок и построения генплана удастся в максимальной степени осуществить принцип дробления подстанций 110—220 кв, то необходимость в мощных токопроводах, естественно, отпадает, или, во всяком случае, их актуальность становится меньшей.

Если же в размещении большого числа относительно мелких подстанций 110—220 кв и в подводе питания к ним по условиям планировки площадки возникают затруднения, то актуальными становятся мощные надземные или подземные токопроводы, которые легче разместить, чем линии и подстанции 110—220 кв.

В некоторых случаях можно одновременно применить оба этих прогрессивных способа. В качестве примера можно привести крупное предприятие, имеющее собственную ТЭЦ, где применены токопроводы генераторного напряжения, связывающие ТЭЦ с вторичным напряжением ГПП. От них же производится распределение электроэнергии (см. рис. 13). А на других участках предприятия возможно выполнить дробление подстанции 110—220 кв с распределением энергии на первой ступени 110—220 кв (см. рис. 2).

Выбор способа канализации электроэнергии для каждого конкретного объекта должен быть обоснован технико-экономическими расчетами. Однако примерные обобщения относительно *области применения различных способов выполнения электрических сетей на промышленных предприятиях* могут быть сведены к рекомендациям, приведенным к табл. 3.

Как выполняются голые токопроводы 6—10 кв?

Применяются два вида голых токопроводов — жесткие и гибкие.

Жесткий токопровод состоит из пакета шин; смонтированного на опорных изоляторах. Для крепления и ограждения токопровода используются необходимые строительные конструкции.

Передаваемая мощность, <i>Мва</i>	Рекомендуемый способ канализации электроэнергии
Более 60	1. Воздушные линии 35—220 <i>кв</i> 2. Кабельные линии 35—220 <i>кв</i> , если имеются препятствия к осуществлению воздушных линий
От 30 до 60	3. Токопроводы 35 <i>кв</i> из газовых труб 1. Жесткие симметричные токопроводы 6—10 <i>кв</i>
От 15 до 30	2. Гибкие симметричные токопроводы, если возможно их прохождение по территории предприятия
Менее 15	Могут быть применены варианты как шинной, так и кабельной канализации на напряжениях 6—10 <i>кв</i> Кабельные линии 6—10 <i>кв</i> . Способы прокладки кабелей: траншей, каналы, туннели, блоки в зависимости от местных условий

В токопроводах на большие величины переменного тока, кроме омических потерь, появляются значительные дополнительные потери:

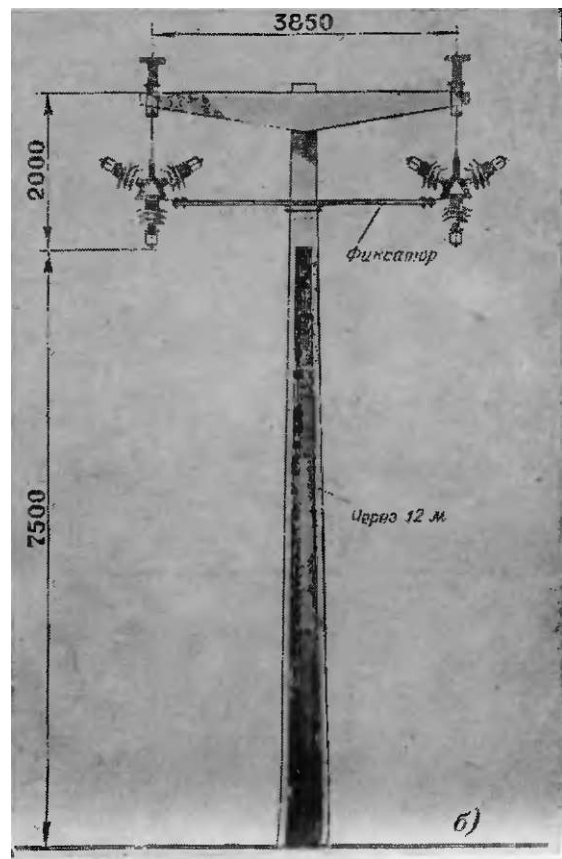
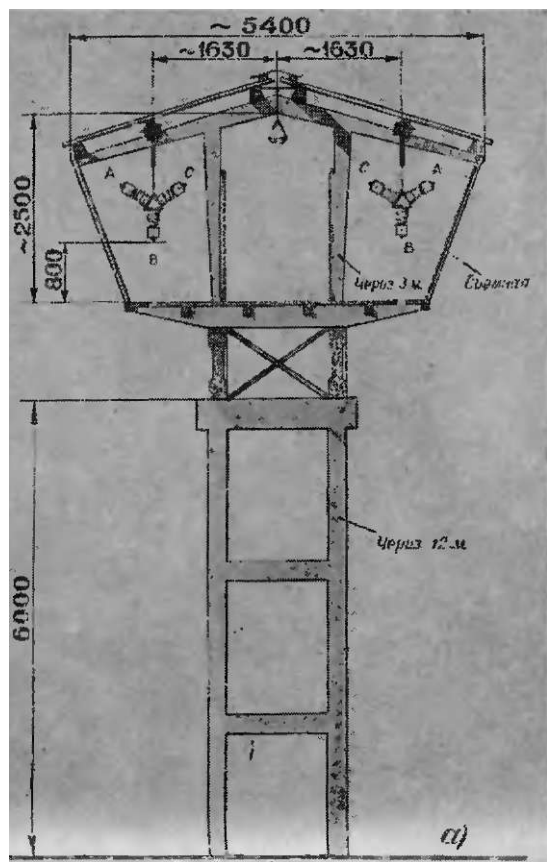
вследствие вытеснения переменного тока к поверхности проводника — это явление называется «поверхностным эффектом»;

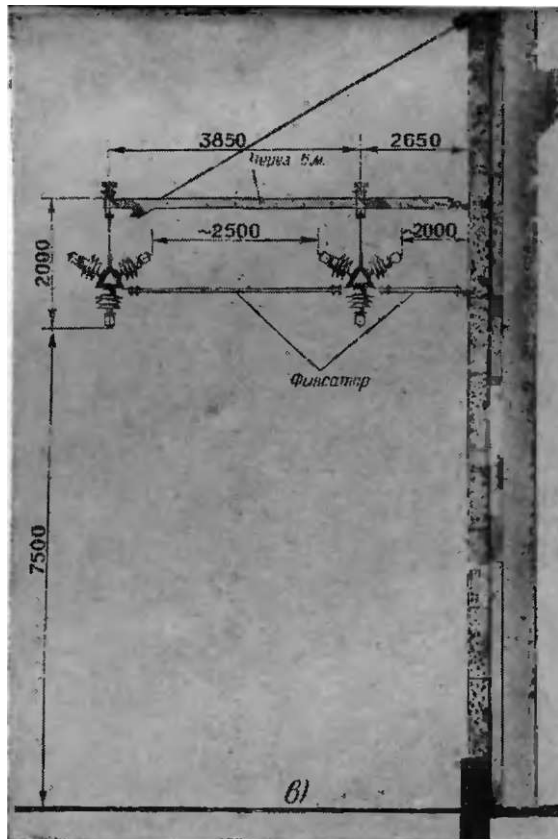
вследствие неравномерного распределения тока по сечению из-за влияния других близлежащих проводников — это явление называется «эффekten близости».

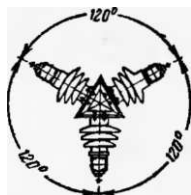
Поэтому очень важно выбрать такую конструкцию пакета, при которой эти потери были бы минимальны. Этим условиям в наибольшей степени удовлетворяют проводники с развитым сечением: полые квадраты, швеллеры, трубы, полутрубы и др.

Кроме того, значительные потери происходят в армировке изоляторов, в поддерживающих конструкциях и в ограждении токопроводов.

Фазы жесткого токопровода располагаются вертикально друг над другом или по сторонам равностороннего треугольника, т. е. симметрично. Наиболее рациональной конструкцией во всех отношениях является симметричный жесткий токопровод (рис. 25). Благодаря симметричному расположению фаз этот токопровод име-







**Рис. 25. Симметричный жесткий токопровод 6—10 кВ для наружной прокладки,**  
а—на эстакаде; б—являющейся отдельными специальными железобетонными опорами; в—на железобетонных кронштейнах, укрепляемых на стене производственного корпуса; е—типичная секция токопровода наружной установки.

ет примерно в  $2-2V_2$  раза меньшие потери мощности, чем токопроводы с вертикальным расположением фаз; в частности, он имеет очень небольшие потери в поддерживающих конструкциях, в ограждениях и в армировке изоляторов. Меньшая реактивность симметричного токопровода определяет меньшие пределы колебаний напряжения, что особенно важно при резкопеременной ударной нагрузке; он компактен и не требует устройства транспозиции, которая необходима при вертикальном расположении фаз для устранения несимметрии напряжений. Это значительно упрощает конструкцию токопровода, удешевляет электрическую и строительную часть, облегчает грозозащиту и позволяет осуществить скоростной индустриальный монтаж с помощью заранее заготовленных секций (рис. 25).

Токопроводы прокладываются в туннелях, наземных галереях, закрытых эстакадах (рис. 25,а), внутри производственных помещений с использованием строительных конструкций здания, а также снаружи на открытых эстакадах, на специальных опорах (рис. 25,б) или же вдоль производственных зданий на кронштейнах, укрепляемых на их наружных стенах (рис. 25,в).

Для удешевления стоимости токопроводов они иногда прокладываются на эстакадах, предназначенных для технологических коммуникаций, если это возможно по условиям трассы последних.

Рекомендуется открытая прокладка токопроводов (рис. 25,б) всегда, когда она возможна по условиям окружающей среды и грозозащиты. Она в 4—5 раз дешевле прокладки в закрытых галереях. Если же использовать наружные стены (рис. 25,в), то стоимость дополнительно снизится более чем в 2 раза.

Гибкий токопровод представляет собой воздушную линию, смонтированную на специальных железобетонных или металлических опорах.

Фазы гибкого токопровода выполняются расщепленными, и каждая из них состоит из нескольких алюминиевых или медных проводов необходимого по расчету сечения. Они подвешиваются на подвесных и натяжных гирляндах изоляторов типа ПМ-4,5. Длительно допустимая токовая нагрузка для пучка проводов каждой фазы гибкого токопровода принимается равной от 80 до 85% суммарной нагрузки отдельных проводов, поскольку

в пучке ухудшаются условия отвода выделяемого ими тепла. Для их крепления применяется комплектная арматура, состоящая из кольца для промежуточной подвески

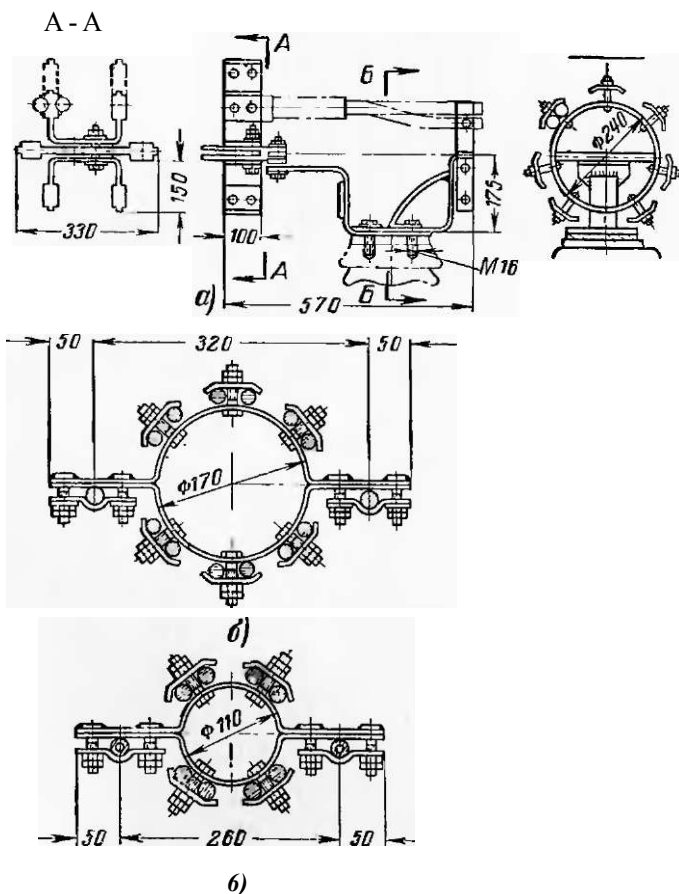


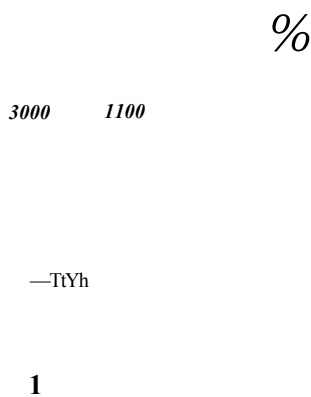
Рис. 26. Арматура для гибкого токопровода.

а — концевое крепление; б — промежуточное кольцо для 14 проводов; в — то же для 10 шравадав.

проводов и из концевых креплений токопроводов. Одна из таких конструкций показана на рис. 26.

Преимуществом гибких токопроводов перед жесткими является меньшая вероятность повреждений благодаря отсутствию у них опорных изоляторов, перекрытие

которых (особенно открытых) у жестких токопроводов происходит более часто. Большое число изоляторов при жестких токопроводах значительно увеличивает их стоимость. Гибкие токопроводы, как правило, требуют меньшего ухода и наблюдения в эксплуатации. Однако они более громоздки и требуют больше места на территории предприятия. Это является серьезным препятствием к их внедрению. Выполнить надежную грозозащиту громозд-



**Рис. 27.** Двухцепной гибкий токопровод, смонтированный на общей конструкции с технологическими трубопроводами 1.

ких гибких открытых токопроводов труднее и дороже, чем компактных симметричных жестких токопроводов. Если в целях экономии используются технологические эстакады для подвески гибких токопроводов, то токопроводы располагают на большой высоте над технологическими трубопроводами, что затрудняет монтаж и эксплуатацию токопровода.

На рис. 27 показан двухцепной гибкий токопровод на напряжение 10 кв с расщепленными фазами, смонтированный на общей железобетонной конструкции с технологическими трубопроводами.

Расщепленные фазы токопровода расположены по вершинам треугольника. Провода в фазе размещены по окружности диаметром 600 мм. Расстояние между проводами в фазе 300 мм. Каждая цепь токопровода рассчитана на полную нагрузку предприятия. При нормальном режиме цепи работают раздельно. При аварии в одной цепи другая воспринимает на себя всю нагрузку предприятия.

Шаг опор, равный 66 м, соответствует шагу опорных конструкций технологической эстакады. Расстояние между осями фаз одной цепи принято 3 м для предотвращения схлестывания проводов при коротком замыкании.

Расстояние между осями ближайших фаз разных цепей токопровода принято 9,5 м с целью максимального ограничения наводки электродвижущих сил в отключенной цепи во время короткого замыкания в работающей цепи.

Расстояние по вертикали от наинизшей точки нижнего провода до стенки верхнего трубопровода эстакады — 7 м.

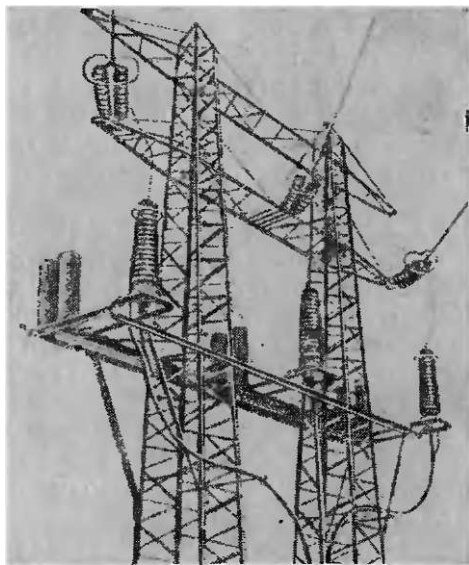
Концевое крепление проводов производится на специальных концевых опорах по концам эстакады. Каждый провод крепится отдельно, в натяжных прессуемых зажимах, при помощи натяжных гирлянд, состоящих из двух изоляторов. Для фиксации проводов в расщепленной фазе установлены типовые фиксаторы треста «Электросетьизоляция» (б. Армсеть) по 2 комплекта в каждом пролете.

Исследования показали, что во время короткого замыкания колебания проводов не приводят к схлестыванию разных фаз гибкого токопровода. Однако непосредственно после отключения короткого замыкания такое схлестывание возможно. Во избежание этого между нижними фазами токопроводов устанавливаются поперечные распорки посередине пролета токопровода, если по расчету тока к. з. это окажется необходимым. Для защиты токопровода от прямых ударов молнии устанавливаются отдельностоящие молниеотводы "параллельно эстакаде ио обем ее сторонам.

Кабельные линии на предприятиях до последнего времени применялись почти исключительно в сетях 6 или 10 кВ, или же в сетях 380 В. Сравнительно редко применялись кабели 35 кВ. Однако, учитывая необходимость сокращения территории предприятий, с целью уменьшения затрат на планировку, облегчения прокладки и удешевления внутривоздушной коммуникаций в настоящее время в порядке дня ставится вопрос о кабельных глубоких вводах 110—220 кВ с переходом внешних питающих воздушных линий в кабель на границе промышленного предприятия (рис. 28) или же с сооружением узловой открытой распределительной подстанции на границе предприятия, от которой отходят кабельные линии 110—220 кВ на территорию предприятия (см. рис. 16,6).

Кабельные линии 110 кВ успешно применяются в сетях Мосэнерго, а также получили значительное распро-

странение за рубежом. При прохождении кабелей по территории промышленных предприятий по их трассе встречается большое число различных подземных сооружений и коммуникаций, для обхода которых необходимы сравнительно крутые повороты с малым радиусом. Для этих условий наиболее подходят маслонаполненные кабели 110 кВ среднего давления типа МССА для про-



**Рис. 28.** Переход внешней питающей воздушной линии 154 кВ в кабель на границе промышленного предприятия.

кладки в земле и типа МССГ для прокладки в воздухе. Преимуществом этих кабелей является также низкая температура затвердевания масла, нижний предел которой составляет  $-55^{\circ}\text{C}$ .

Кабели среднего давления могут работать в большом диапазоне давлений ( $\Delta p = 0,3 - 3 \text{ ат}$ ); это дает возможность увеличить допустимую разность уровней по трассе кабеля и расстояние между баками подпитки маслом и тем самым снизить стоимость линии.

Опыт эксплуатации маслонаполненных кабелей 110 кВ показал, что они работают очень надежно -

в системе Мосэнерго по их вине не было ни одного аварийного отключения. В одном случае было механическое повреждение одной фазы кабеля экскаватором. В двух случаях были зарегистрированы газовыделения, локализованные вследствие разложения масла, но они были ликвидированы без отключения кабеля, т. е. без перерыва подачи энергии. Поэтому в настоящее время при укладке

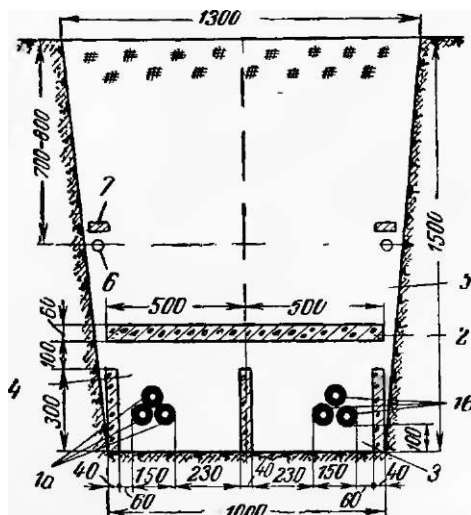


Рис. 29 Прокладка кабелей 110 кв.

1а — однеж]ьные маслополированные кабели первой цепи; 1б — то же для второй цепи; 2 — железобетонная плита; 3, 4 — песок или просеянный грунт; 5 — засыпка грунтом; 6 — контрольный кабель, 7 — кирпич.

этих кабелей в земле их можно располагать по вершинам равностороннего треугольника вплотную друг к другу (рис. 29).

Кабели вне зданий прокладываются в траншеях, каналах, лотках, туннелях или блоках. При прокладке важно не превышать разности уровней, допустимые для разных марок кабелей, и соблюдать минимальные радиусы изгиба кабелей, указанные в ПУЭ.

Прокладка кабелей в траншеях наиболее проста и экономична как по капитальным затратам, так и по расходу цветного металла и рекомендуется к при-

МенШО при Числе кабелей до 4—6. Исключение Представляют участки с большим количеством кабелей, насыщенные другими подземными и наземными технологическими и транспортными коммуникациями; участки, на которых возможен разлив горячего металла или жидкостей, разрушающе действующих на оболочку кабелей; почвы, содержащие в большом количестве вещества, разрушающе действующие на оболочки кабелей, а также другие "места, где возможны случаи (повреждения кабелей, как, например, появление блуждающих токов опасных величин, большие механические нагрузки на (поверхность земли, размывание почвы и т. п. Не рекомендуется прокладывать в одной траншее более шести, а в районах вечной мерзлоты—более четырех силовых кабелей на напряжение 3—10 кв.

В туннелях применяется прокладка большого количества (порядка 20—30) кабелей, идущих в одном направлении. Типовые кабельные туннели имеют ширину 1,9 м и 1,5 м и высоту 2,1 м и 1,5 м туннели высотой 1,5 м называются полупроходными.

Ориентировочное число кабелей с условным диаметром 50 мм, которое можно уложить в нормальных туннелях, колеблется в зависимости от вида раскладки от 35 до 52 при ширине 1,5 м и от 62 до 72 при ширине 1,9 м. В полупроходных туннелях можно уложить от 24 до 35 кабелей при ширине 1,5 м и от 43 до 48 при ширине 1,9 м.

Полупроходные туннели применяются главным образом на коротких участках длиной до 100 м, на ответвлениях от главных туннелей и т. п., а также при относительно небольших потоках кабелей и в местах, где из-за наличия других подземных коммуникаций затруднено устройство туннелей нормальной высоты.

Примерный (порядок раскладки кабелей в туннелях показан на рис. 30,а.

Можно прокладывать силовые и контрольные кабели в общих коллекторах совместно с кабелями связи и водо-, тепло- и воздухопроводами. Прокладка совместно с газопроводами, трубопроводами горючих и легковоспламеняющихся жидкостей и с магистральными трубопроводами противопожарного водоснабжения не допускается. Примерный порядок размещения кабелей в коллекторе показан на рис. 30,б.

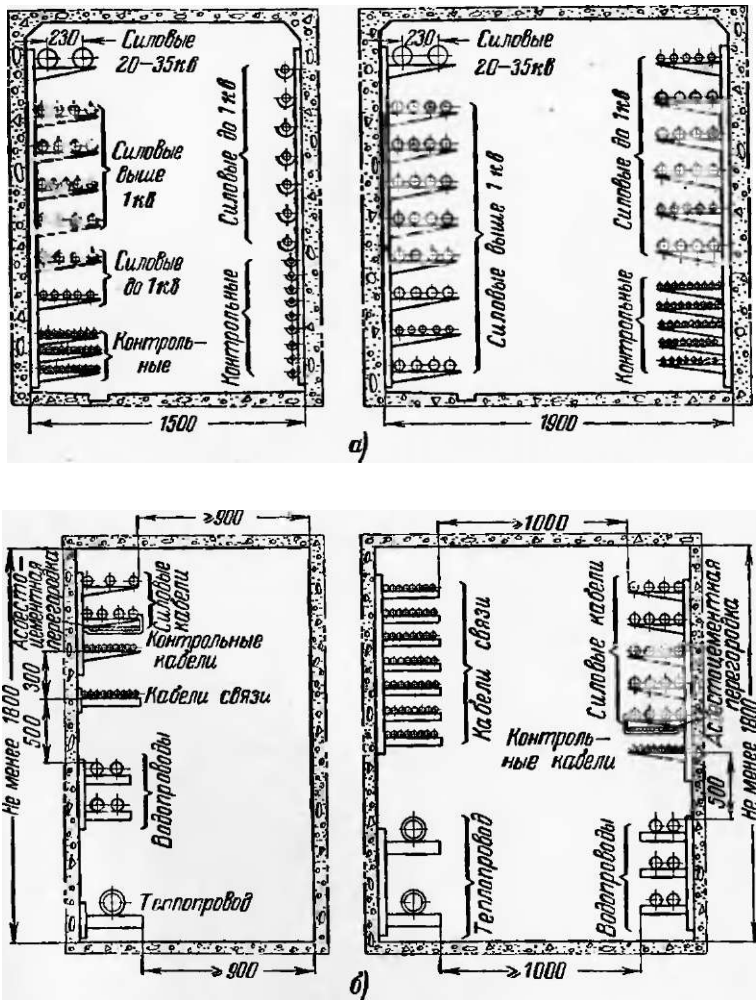
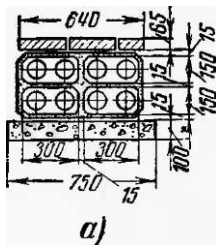


Рис. 30. Примеры раскладки кабелей в туннелях и коллекторах.  
а — в туннеле; б — в коллекторе.

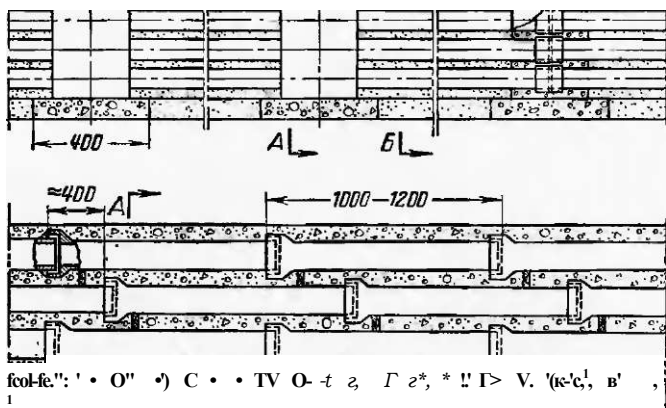
Туннели длиной до 7 м могут иметь один выход. В туннелях длиной от 7 до 200 м должно быть не менее двух выходов (по концам туннеля). В туннелях большей протяженности расстояние между двумя ближайшими выходами должно быть не более 200 ж.



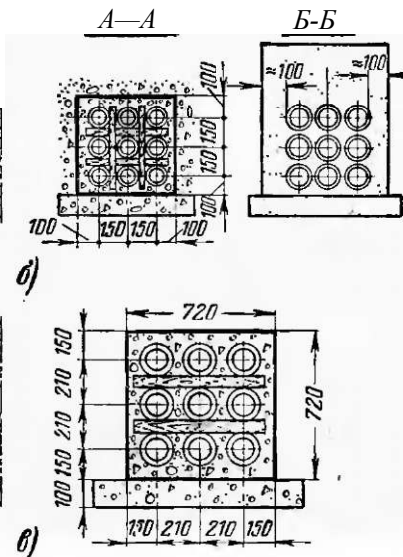
-2850-

-2350•

Рис. 31. Примеры выполнения кабельных блоков.  
 а — из бетонных труб для сухих грунтов; б — из асбоцементных труб; в — из керамических труб.



fol-fe.' : ' • O" •) C • • TV O-t z, Γ z\*, \* !! Γ> V. '(κ-c', B' ,



Для прокладки кабелей в каналах применяются типовые каналы Госстроя (типовой проект 4-07-509).

Прокладка кабелей в блоках (рис.31) наименее экономична. Она допускается в исключительных случаях, лишь на тех участках, где нельзя применить другие, более простые и дешевые прокладки, например при наличии блуждающих токов, агрессивных грунтов, при насыщенности территории различными коммуникациями и сооружениями и, наконец, при вероятности разлива металла или агрессивных жидкостей.

Допустимые токи кабелей, прокладываемых в блоках, значительно меньше, чем для кабелей в земле, так как условия охлаждения хуже, особенно в средних ячейках блока.

В местах изменения направления или разветвления трассы кабельных блоков, в местах перехода кабелей из блока в траншею, а также на протяженных прямых участках трассы сооружаются колодцы или камеры, размеры которых должны допускать разделку линейных муфт.

В последнее время стали применять наружную прокладку кабелей в лотках на технологических эстакадах и на стенах зданий. Это особенно целесообразно на предприятиях, где почва пропитана агрессивными химическими веществами, повреждающими оболочки кабелей, а также на территориях, сильно насыщенных подземными коммуникациями и сооружениями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бронгулеева М. Н. и Городецкий С. С., Кабельные линии высокого напряжения. Госэнергоиздат, 1963.
2. Ермилов А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. Госэнергоиздат, 1963.
3. Ермилов А. А., Комплексные технико-экономические решения в электроснабжении промпредприятий, Промышленная энергетика № 6, 1964
4. Лазин А. И., Короткозамыкатели и отделители, Госэнергоиздат, 1963.
5. Миллер Г. Р., Автоматизация в системах электроснабжения промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1961.
6. Гольдгоф Б. Г., Лейбзон Я. И., Соскин Э. А., Автоматизация и телемеханизация энергоснабжения промышленных предприятий, «Энергия», 1964.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие требования к системе электроснабжения. . . . .	3
2. Напряжения питающих и распределительных сетей . . . . .	6
3. Источники питания. . . . .	12
4. Глубокие вводы. . . . .	15
5. Схемы распределения электроэнергии внутри предприятия	27
6. Электроснабжение предприятий с загрязненной и агрессивной окружающей средой. . . . .	53
7. Мероприятия по ограничению токов короткого замыкания	57
8. Основные способы и средства для улучшения коэффициента мощности и схемы присоединения компенсирующих устройств. . . . .	59
9. Основные требования к качеству электроэнергии. . . . .	69
10. Автоматизация и телемеханизация в системах электроснабжения. . . . .	73
11. Способы канализации электроэнергии в сетях высокого напряжения. . . . .	79
Литература. . . . .	94

# БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

## *Вышли из печати*

Черепенин П. Г., Монтаж асинхронных двигателей до 100 кет, изд. 2 (Вып. 145)

Беляева Е. П., Как рассчитать ток короткого замыкания (Вып. 146)

Юриков П. А., Средства защиты изоляции от атмосферных перенапряжений (Вентильные разрядники) (Вып. 147)

Фугенфиров М. И., Пускорегулирующая аппаратура для люминесцентных ламп (Вып. 148)

Фингер А. А., Ртутные выпрямители (Вып. 149)

Дуткин Г. С., Монтаж проводов линий электропередачи на штыревых изоляторах (Вып. 150)

Марфи и Н. И., Охрана линий электропередачи (Вып. 151)

Белоцерковец В. В., Применение пропан-бутана в электромонтажном производстве (Вып. 152)

Марголин Ш. М., Точная остановка электроприводов (Вып. 153)

Масанов Н. Ф., Электропроводки в трубопроводах (Вып. 154)

Анастасиев П. И., Фролов Ю. А., Сооружение и монтаж линий 3—10 кв (Монтажные работы) (Вып. 155)

Мишустина Л. И., Автоматические выключатели серии АЗ100, изд. 2 (Вып. 156)

Юриков П. А., Защита изоляции от атмосферных перенапряжений (Трубчатые разрядники) (Вып. 157)

Каминский Е. А., Как сделать проект небольшой электроустановки, изд. 2 (Вып. 158)

Дудинов М. С., Управление осветительными сетями (Вып. 159)

Лейбзон Я. И., Милич М. Б., Регулируемые электроприводы переменного тока с индукторными муфтами скольжения (Вып. 160)

## *Готовятся к изданию*

Барздяи А. Б., Как читать схемы релейной защиты и автоматики

Волубев М. Л., Релейная защита и автоматика подстанций с помощью коммутаторов и делителей

Живов М. С., Индустриальный монтаж осветительных установок

Зак С. М., Монтаж светильников с газоразрядными лампами  
Овчинников В. В., Электромагнитные реле тока и напряжения

*Из Отелство заказов на книги не принимает и книг не высылает. Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом без задатка отделения «Книга — почтой». Отделения «Книга — почтой» имеются во всех республиканских, краевых и областных центрах СССР.*

## ИСПРАВЛЕНИЕ

Страница	Строка	1 Спечатано	Должно быть
65	10 снизу	случаях к токопроводам	случаях к шинам

**Цена 17 коп.**

*Шур f/<h. latine, э. м. лат. f. m. x\* • нм-всфса-*

*.mm 'mi my/ft r^t н\*,*

*trtr (< m.накк/и*