

ГЛАВА 1

Автоматическое включение резервного питания и оборудования

1.1. Назначение и область применения АВР

Одним из основных требований потребителей электрической энергии является требование надежности. Подключение потребителей к одному источнику питания через одиночную линию не обеспечивает высокой надежности электроснабжения. В случае выхода из строя генератора или линии электроснабжения прекращается.

Надежность питания может быть повышена как за счет повышения надежности самих элементов схемы – генераторов, линий электропередачи, выключателей и т.д., так и за счет резервирования, сущность которого заключается в том, что при выходе из строя какого-либо основного элемента схемы сети в работу вводится резервный элемент.

Схемы резервирования показаны на рис.1.1.

В схеме, представленной на рис. 1.1, а, питание потребителей в нормальном режиме осуществляется от генератора Г1 через линию Л1, которая является рабочей. Линия Л2 является резервной – она находится под напряжением (выключатель В3 включен), но ток по ней не проходит (выключатель В4 отключен). При выходе из строя рабочей линии питание потребителей переводится на резервную. Для этого поврежденная линия отключается, а выключатель В4 резервной линии включается. Перерыв в питании оказывается вполне допустимым практически для всех потребителей.

В рассмотренной схеме резерв представлен в явном виде: в нормальном режиме резервная линия стоит под напряжением без нагрузки. На схеме рис.1.1, б резервирование выполнено в неявном виде. Здесь обе линии являются рабочими. В нормальном режиме выключатель В5 отключен, и каждая линия обеспечивает питание потребителей, подключенных к соответствующей секции.

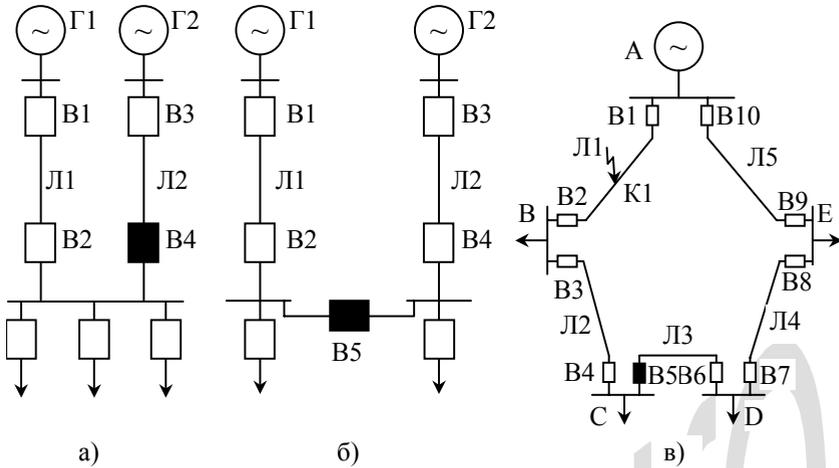


Рис.1.1. Схемы резервирования линий

При коротком замыкании на одной из линий, например на Л1, последняя отключается. После этого включается выключатель В5, установленный на перемычке между секциями. В результате такого переключения потребители левой секции начнут получать питание по линии Л2. Для того, чтобы оставшаяся в работе линия Л2 могла дополнительно обеспечивать питание потребителей и левой секции, она должна быть рассчитана на суммарную нагрузку потребителей обеих секций. В нормальном режиме линия Л2 оказывается недогруженной, т.е. содержит в себе скрытый (неявный) резерв, который может быть использован в аварийном режиме.

В обеих схемах потребители, питающиеся в нормальном режиме от одного источника питания, в аварийном режиме подключаются к другому источнику, который должен быть рассчитан на дополнительную нагрузку. Так как в нормальном режиме оба источника несут определенную нагрузку, то имеющийся у них резерв для покрытия дополнительной нагрузки является скрытым.

На схеме рис. 1.1, в показана кольцевая схема питания потребителей на подстанциях В, С, D и E. В нормальном режиме питание осуществляется по разомкнутой схеме – выключатель В5 отключен. Потребители подстанций В и С получают питание по линиям левой части кольца. Электроснабжение подстанций E и D осуществляется по правой части кольца. Линия Л3 между под-

станциями С и D находится под напряжением, но без нагрузки. В данном случае имеется явный резерв.

При к.з. в точке К1 на линии Л1 релейная защита отключит поврежденную линию выключателями В1 и В2. Сборные шины подстанций В и С останутся без напряжения. Для восстановления их питания необходимо включить выключатель В5 линии Л3. Такое переключение возможно, если линии Л3, Л4, Л5 имеют достаточную пропускную способность для питания этих потребителей, т.е. имеют неявный резерв.

При явном резерве возникает вопрос: почему он не используется в нормальном режиме? Ведь сооружение резервной линии или любого другого резервного элемента требует определенных затрат и, если затраты сделаны, то желательно такой элемент эксплуатировать и в нормальном режиме. Параллельное подключение резервного элемента, например, линии, в нормальном режиме уменьшает потери энергии и падение напряжения в линиях, а при выходе из строя рабочей линии резервная воспринимает на себя всю нагрузку без перерыва. Эти преимущества вполне очевидны и их следует иметь в виду при выборе схемы питания потребителей. Однако параллельная работа приводит и к иным условиям: увеличиваются токи короткого замыкания, а следовательно, утяжеляется аппаратура, усложняется релейная защита.

Как следствие указанных условий, сооружение питающих линий и распределительных подстанций становится дороже. Расчеты показывают, что в распределительных сетях 6–10 кВ целесообразно применять разомкнутые схемы, а надежность электроснабжения повышать за счет введения имеющегося резерва. Замкнутые схемы рекомендуется применять только в случаях питания особо ответственных потребителей большой мощности.

Эффективность введения резерва тем выше, чем меньше перерыв в питании с момента отключения рабочего элемента до включения резервного. Быстрое же включение резервного элемента возможно только с помощью средств автоматики. Устройства, которые осуществляют такое включение, называются устройствами автоматического включения резерва (АВР).

1.2. Выбор параметра пуска схемы АВР

Схема автоматического включения резерва должна производить включение резервного элемента при вполне определенных условиях. Правильность выбора пусковых параметров во многом определит успешность АВР и простоту схемы.

Рассмотрим схему, в которой рабочая линия Л1 резервируется линией Л2 (рис. 1.2). Тогда, казалось бы, схема АВР должна приходить в действие только при авариях на самой рабочей линии. Однако при этом требуются весьма избирательные пусковые органы, которые бы четко фиксировали место аварии. Наличие такого пускового органа усложняет схему АВР.

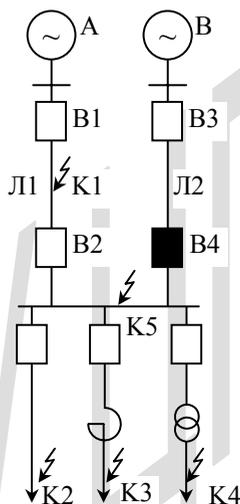


Рис.1.2. Схема для пояснения выбора параметра пуска АВР

Возможен другой подход в выборе пускового параметра схемы АВР, когда схема приходит в действие при аварии не только на самой рабочей линии, но и при авариях в других точках сети. Если же авария происходит вне рабочей линии, схема блокируется, и переход на резервную линию не происходит. Преимуществом такого подхода является простота пускового органа, который может быть выполнен на базе реле напряжения. При исчезновении

напряжения на резервируемых шинах по любой причине, а также при уменьшении напряжения до определенной величины, схема АВР запускается.

При коротком замыкании на отходящих линиях в точках К2, К3 или К4 переходить на питание по резервной линии не имеет смысла. В этих случаях неправильное действие схемы АВР, запускаемой по напряжению, может быть устранено временной задержкой и правильным выбором уставки срабатывания пускового реле.

Особым случаем является короткое замыкание на шинах в точке К5. Отстроить защиту по напряжению или за счет выдержки времени от такого повреждения нельзя. На начальном этапе применения АВР это служило основным препятствием для использования простых пусковых органов по напряжению.

Опыт эксплуатации показал, что не следует отстраивать действие АВР от короткого замыкания на сборных шинах. Короткое замыкание на сборных шинах в ряде случаев после снятия напряжения самоликвидируется. Переход с рабочей линии на резервную сопровождается кратковременным отсутствием напряжения на шинах. Иногда это приводит к восстановлению нормального питания, но уже с помощью резервной линии. При устойчивом коротком замыкании на сборных шинах резервная линия включается кратковременно. Последующее ее отключение осуществляется действием релейной защиты.

В силу отмеченных преимуществ способ пуска схемы АВР по напряжению получил наибольшее распространение.

1.3. Самозапуск двигателей

Перевод питания с рабочей линии (трансформатора) на резервную линию (трансформатор) сопровождается кратковременным перерывом питания. За это время частота вращения двигателей уменьшается. Если перерыв продолжителен, то двигатели останавливаются полностью. При восстановлении напряжения по резервной линии двигатели снова запускаются и разворачиваются до рабочей частоты вращения. Этот процесс называют самозапуском двигателей.

Условия самозапуска двигателей значительно отличаются от условий нормального пуска, что обусловлено одновременностью разворота всех двигателей, которые переводятся на резервное питание.

В момент пуска из сети потребляется ток в 4 – 5 и более раз выше номинального значения тока двигателя. Пусковой ток создает дополнительное падение напряжения, например в трансформаторе, от которого питается двигатель. Мощность двигателя, как правило, меньше мощности трансформатора, поэтому дополнительное падение напряжения в трансформаторе составляет незначительную величину. Можно считать, что пуск одного двигателя происходит при номинальном напряжении. В таком случае асинхронный момент двигателя в 1,5 – 2,0 раза превосходит момент нагрузки и под действием значительного избыточного момента $\Delta M = M_{ac} - M_n$ происходит быстрый разворот двигателя (рис. 1.3).

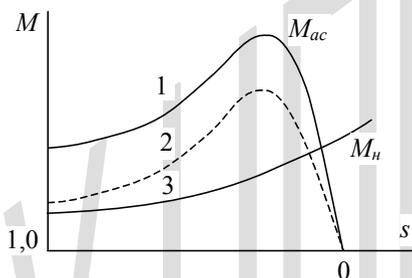


Рис.1.3. Характеристики асинхронного (кривые 1, 2) и тормозного (кривая 3) моментов асинхронных двигателей

При одновременном запуске всех двигателей дополнительное падение напряжения в трансформаторе может быть значительным. Действительно, если предположить, что вся нагрузка на трансформаторе состоит только из двигателей, пусковой ток может в 4 – 5 раз превосходить номинальный ток трансформатора. Реактивный характер периодической составляющей пускового тока приводит к значительному уменьшению модуля напряжения.

При пониженном напряжении асинхронный момент двигателя уменьшается (кривая 2), пуск двигателя затягивается, а в особо тяжелых случаях двигатели могут не запуститься.

Допустимое время запуска электродвигателей для электростанции со средними параметрами пара составляет 30 – 35 с [6] и определяется условиями нагрева двигателей. Для станций с блоками высокого давления пара допустимое время самозапуска уменьшается до 10 – 15 с и определяется сохранением технологического процесса котлоагрегата из-за прекращения подачи питательной воды. На атомных электростанциях, особенно оборудованных главными циркуляционными насосами с малыми вращающимися массами, допустимое время самозапуска сокращается до 1 – 5 с. При большем времени самозапуска возможно прекращение циркуляции теплоносителя через активную зону реактора с последующим его отключением от аварийной защиты.

Такое резкое сокращение допустимого времени самозапуска на АЭС заставляет снижать все возможные задержки в процессе восстановления резервного питания – применять быстродействующую релейную защиту, оставлять для самозапуска только ответственных потребителей, иметь запас по мощности у резервного трансформатора и даже учитывать сопротивление кабеля от резервного трансформатора до потребителя.

На рис. 1.4 показаны диаграммы изменения напряжения, тока и частоты вращения двигателей при их переходе на резервное питание. После отключения рабочей линии в момент времени t_1 напряжение на двигателях становится равным нулю и начинается их торможение. Длительность снижения частоты вращения зависит от момента сопротивления механизмов, приводимых в движение двигателями. В момент времени t_2 включается резервная линия. На двигателях вновь появляется напряжение, и они начинают разворачиваться.

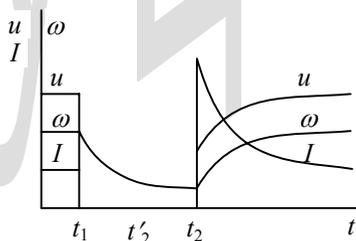


Рис. 1.4. Диаграмма тока, напряжения и частоты вращения двигателя при действии АВР

Из рис.1.4 видно, что, несмотря на уменьшение напряжения, вызванного большими пусковыми токами, самозапуск происходит успешно. Если бы включение резервного источника питания происходило раньше, когда торможение двигателей было еще небольшим, то очевидно, процесс самозапуска прошел бы более легко, т.е. пусковые токи были меньше, и следовательно, меньшим было бы и снижение напряжения. Отсюда следует, что с точки зрения самозапуска двигателей переход на резервный источник питания должен происходить как можно быстрее.

При быстром включении незаторможенных двигателей включение может быть несинхронным, т.к. у отключенных, но вращающихся двигателей имеется остаточное напряжение. Последующее включение таких двигателей может привести к токам, превышающим пусковые, обусловленные только напряжением источника питания.

Опыт эксплуатации устройств АВР показал, что несинхронные включения двигателей не представляют серьезной опасности. Несмотря на стремление как можно быстрее включить резервный источник питания, восстановление напряжения происходит с некоторой задержкой из-за времени срабатывания элементов автоматики и выключателя. Этой задержки достаточно, чтобы напряжение на заторможенных двигателях снизилось до безопасной величины.

Вследствие большого снижения напряжения в момент перехода на резервное питание двигатели могут не запуститься. В таких случаях часть двигателей должна быть отключена для запуска оставшихся двигателей наиболее ответственных потребителей. Их число должно быть рассчитано. Расчет самозапуска следует проводить с учетом моментных характеристик двигателей, моментов сопротивления и мощности источника питания.

В большинстве случаев такие расчеты проводить необязательно. Об успешности самозапуска можно судить по ориентировочному расчету, в котором определяется лишь остаточное напряжение на выводах двигателей в момент самозапуска. Считается, что для успешного самозапуска напряжение должно составлять не менее $0,7U_{ном}$. В этом случае вращающий момент двигателей не снижается больше, чем на 50 % от номинального значения.

Успешный самозапуск возможен при более низком остаточном напряжении, однако разворот двигателей при этом затягивается. Длительное протекание пусковых токов приводит к перегреву как самих двигателей, так и питающих элементов, поэтому затягивание самозапуска нежелательно.

Величина остаточного напряжения, а следовательно, и успешность самозапуска зависит от соотношения мощностей запускаемых двигателей и резервного источника, а также от того, был или не был нагружен резервный элемент до подключения к нему запускаемых двигателей. Для определения мощности двигателей, которые могут быть оставлены для самозапуска при действии схемы АВР, рекомендуется пользоваться таблицей 1.1. Величины сопротивлений и мощностей приведены в относительных единицах. За базисную принята мощность резервного трансформатора [3].

Таблица 1.1

Сопротивление цепи до шин собственных нужд	Допустимая величина асинхронной нагрузки, оставляемая для самозапуска	
	Резервный трансформатор не нагружен	Резервный трансформатор нагружен
0,08	1,75	1,50
0,10	1,45	1,20
0,12	1,20	1,00
0,14	1,00	0,80

Данные таблицы 1.1 получены для наиболее тяжелого случая самозапуска, когда двигатели полностью остановлены. Критерием успешного самозапуска принята величина остаточного напряжения на двигателях в момент их пуска, равная $0,55U_{ном}$. Как было отмечено выше, при таком напряжении самозапуск оказывается затянутым. Следует иметь в виду, что в таблице указаны предельные значения мощностей. Практически эти значения меньше, и самозапуск двигателей происходит достаточно быстро.

1.4. Настройка элементов схемы АВР

Пусковым органом схемы АВР является реле напряжения, реагирующее на понижение напряжения в аварийных режимах. Селективное действие схемы достигается за счет правильного выбора напряжения срабатывания пускового реле. Для отстройки от короткого замыкания за реактором или трансформатором отходящей линии (см. рис. 1.2, точки К3 и К4) напряжение

пуска должно быть меньше остаточного напряжения на сборных шинах при коротком замыкании в указанных точках:

$$U_{\text{пуск}} \leq \frac{U_{\text{ост}}}{k_n}.$$

В момент самозапуска происходит посадка напряжения. В это время схема АВР также не должна приходить в действие. Для этого напряжение пуска проверяется по условию

$$U_{\text{пуск}} \leq \frac{U_{\text{с.з.}}}{k_n},$$

где $U_{\text{с.з.}}$ – напряжение в момент самозапуска; $k_n = 1,2 - 1,3$ – коэффициент надежности. Практически напряжение срабатывания реле выбирается равным $0,3 - 0,4U_{\text{ном}}$.

Отстройка от неправильного действия схемы АВР при коротком замыкании на отходящей нереактированной линии (рис. 1.2, точка К2) осуществляется за счет выдержки времени. Время отключения рабочей линии выбирается больше времени срабатывания защиты отходящей линии:

$$t_{\text{АВР}} = t_{\text{с.з.}} + \Delta t,$$

где Δt – ступень избирательности.

Переход на резервную линию оправдан в случае, если последняя готова принять нагрузку. Для этого резервная линия должна в случае явного резерва находиться под напряжением. Наличие напряжения на резервной линии контролируется с помощью реле максимального напряжения, уставка которого выбирается по условию:

$$U_{\text{ср}} = U_{\text{раб.мин}} \frac{k_\epsilon}{k_n},$$

здесь $U_{\text{раб.мин}}$ – минимальное значение напряжения в рабочем режиме; $k_\epsilon = 0,85$ – коэффициент возврата; $k_n = 1,1 - 1,2$ – коэффициент надежности.

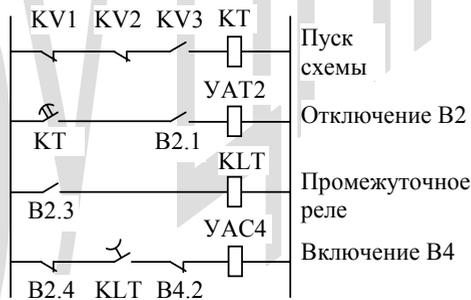
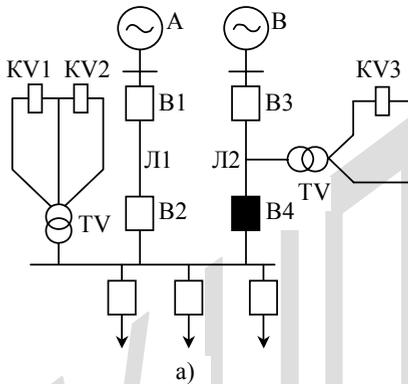
При неявном резерве ток самозапуска двигателей накладывается на рабочий ток резервной линии. В этом режиме релейная защита резервной линии не должна срабатывать. Селективное действие защиты достигается за счет выбора тока срабатывания $I_{\text{ср}}$ по условию:

$$I_{cp} \geq (1,3 - 1,4) I_{c.з.}$$

где $I_{c.з.}$ – ток нагрузки с учетом самозапуска двигателей.

1.5. Схемы АВР линий

Принципиальная схема автоматического ввода резерва линии показана на рис.1.5, а,



б)

Рис.1.5. Схемы питания (а) и АВР (б).

Линия Л1 является рабочей. Линия Л2 в нормальном режиме не работает и находится в резерве. Соответственно выключатели В1, В2 и В3

включены, а выключатель В4 отключен. Для повышения надежности резервная линия питается от другого источника.

Схемы автоматики содержат большое число замкнутых и разомкнутых контактов. При срабатывании элементов разомкнутые контакты становятся замкнутыми и наоборот. Во избежание неправильного чтения схем, необходимо принять изображение контактов для вполне определенного состояния элементов. Как правило, на схемах контакты изображаются для обесточенного состояния элемента.

Рассмотрим АВР линии на простом примере. На рис. 1.6 показан выключатель В1 с четырьмя вспомогательными контактами В1.1, В1.2, В1.3 и В1.4. В отключенном положении выключателя вспомогательные контакты В1.1 и В1.3 нормально открыты, а два других контакта В1.2 и В1.4 – замкнуты.

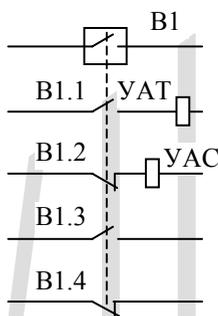


Рис.1.6. Схема выключателя В1 с электромагнитами включения УАС и отключения УАТ и вспомогательными контактами В1.1-В1.4.

Выключатель имеет электромагнитный привод. Катушка включения УАС включена последовательно с контактами В1.2. В цепь катушки отключения УАТ включены контакты В1.1. Это сделано для того, чтобы разрыв цепи включения или отключения осуществлялся вспомогательными контактами выключателя, а не контактами пускового элемента, которые имеют сравнительно небольшую разрывную мощность.

Рассмотрим процесс включения выключателя В1. Для этого ключом управления должно быть подано питание в цепь катушки включения УАС. Как

только выключатель включится, его вспомогательные контакты в этой цепи В1.2 разомкнутся и разорвут цепь питания.

Аналогичное замечание относится к изображению контактов реле. На схемах они изображаются для состояния, когда их обмотки обесточены.

Пуск схемы АВР (рис. 1.5, б) осуществляется с помощью реле минимального напряжения KV1 и KV2, контакты которых включены последовательно. Напряжение срабатывания этих реле выбирается равным $0,3 - 0,4U_{ном}$. Использование двух реле напряжения, включенных на разные фазы, исключает возможность ложного пуска схемы из-за перегорания одного предохранителя в цепи трансформатора напряжения. Одновременное перегорание двух предохранителей маловероятно.

При снижении напряжения на сборных шинах подстанции ниже $0,3 - 0,4U_{ном}$ реле срабатывают и запускают схему. Выдержка времени осуществляется с помощью реле времени КТ. Если на рабочей линии установлено АПВ, то уставка реле времени должна быть больше времени, необходимого для отключения рабочей линии с последующим ее включением действием АПВ.

Реле времени подает сигнал на отключение выключателя В2. Через вспомогательные контакты этого выключателя В2.3 снимается напряжение с реле KLT, имеющего выдержку при отпуске якоря. Вспомогательные контакты В2.4 подают сигнал на включение выключателя В4. В случае успешного цикла АВР резервная линия Л2 остается в работе. Если запуск схемы АВР произошел при устойчивом коротком замыкании на шинах подстанции, то действием релейной защиты линия Л2 отключается. Повторного включения линии не произойдет, поскольку к этому времени якорь реле KLT отпускается и его контакты в цепи электромагнита УАС4 размыкаются.

Даже однократное включение резервной линии на устойчивое к.з. на сборных шинах достаточно опасно. Для того чтобы сократить время включения на устойчивое к.з., применяется ускорение действия релейной защиты. Если на линии установлена максимальная токовая защита, то селективность ее действия создается за счет выдержки времени, которая выбирается больше выдержки времени защиты на отходящих к потребителям линиях.

На время действия схемы АВР выдержку времени защиты резервной линии сокращают практически до нуля. При включении на устойчивое к.з. на

сборных шинах резервная линия мгновенно будет отключена. Более подробно ускорение релейной защиты для согласования ее действия с устройствами автоматики рассмотрено в параграфе 2.7.

Проверка напряжения на резервной линии осуществляется с помощью реле KV3. При нормальном напряжении на резервной линии контакты реле замкнуты. Если напряжение на резервной линии отсутствует, то контакты размыкаются, и питание с реле времени снимается. В этом случае схема АВР блокируется.

На многих подстанциях распределительных сетей отсутствуют аккумуляторные батареи. На таких подстанциях релейная защита и автоматика выполняются на переменном оперативном токе, источником которого является трансформатор напряжения. Из-за ограниченной мощности источника оперативного тока не могут быть использованы выключатели с соленоидным приводом. На легких выключателях широкое распространение получили грузовые или пружинные приводы. В грузовых приводах для включения выключателя используется энергия падающего груза, в пружинном – энергия предварительно натянутой пружины. Подъем груза или натяжение пружины может осуществляться вручную или с помощью электродвигателя мощностью 50–100 Вт. Для питания такого двигателя мощности трансформатора напряжения вполне достаточно. В своей основе схема АВР с действием на выключатель с грузовым или пружинным приводом аналогична схеме АВР на постоянном оперативном токе.

1.6. Схемы АВР трансформаторов

На распределительных подстанциях 6–10 кВ устанавливается, как правило, два и более понижающих трансформатора. Схема электроснабжения с одним трансформатором применяется редко.

Рассмотрим подстанцию с двумя трансформаторами (рис. 1.7, а). Как правило, группы соединений и аппаратура на стороне 0,4 кВ допускают параллельную работу этих трансформаторов.

Обычно на параллельную работу устанавливают трансформаторы одинаковой мощности. В таком случае суммарная нагрузка потребителей рас-

пределяется между трансформаторами поровну. При большой нагрузке потребителей, когда трансформаторы загружены на $0,7P_{ном}$ и выше, совместная работа трансформаторов оправдана.

В случае небольшой нагрузки может оказаться выгодно отключить один из трансформаторов – суммарные потери в обмотках трансформатора и потери холостого хода при этом будут снижены в сравнении с параллельной работой двух трансформаторов. Выбор моментов включения и отключения второго трансформатора на параллельную работу определяется графиком нагрузки потребителей и производится на основе соответствующих расчетов.

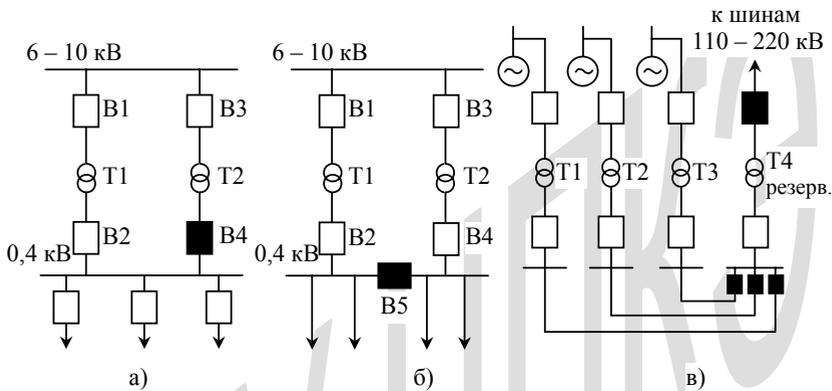


Рис.1.7. Схемы резервирования трансформаторов

Проблема надежности заключается в обеспечении автоматического введения в работу отключенного трансформатора при выходе из строя работающего.

Возможен другой вариант построения схемы питания потребителей, когда в нормальном режиме секционный выключатель отключен, и каждый трансформатор питает свою нагрузку (рис. 1.7, б).

Если в одном из трансформаторов, например Т1, произойдет короткое замыкание и он будет отключен действием релейной защиты, то после отключения выключателей В1 и В2 необходимо включить секционный выключатель В5. Потребители левой секции получают питание от трансформатора Т2. Конечно, это возможно, если трансформатор Т2 имеет достаточную мощность для питания потребителей двух секций.

Автоматический ввод резерва широко применяется в схемах питания собственных нужд электростанции. Для повышения надежности трансформаторы собственных нужд резервируются. Каждый трансформатор собственных нужд может резервировать любой другой трансформатор, если это позволяет схема электрических соединений. Однако при таком подходе схема автоматики получается более сложной и менее надежной. Более простой является схема явного резервирования, когда функции резервирования закреплены за одним, не работающим в нормальном режиме трансформатором (рис. 1.7, в).

Рассмотренные примеры свидетельствуют о многообразии вариантов резервирования, что должно учитываться при разработке схем автоматики.

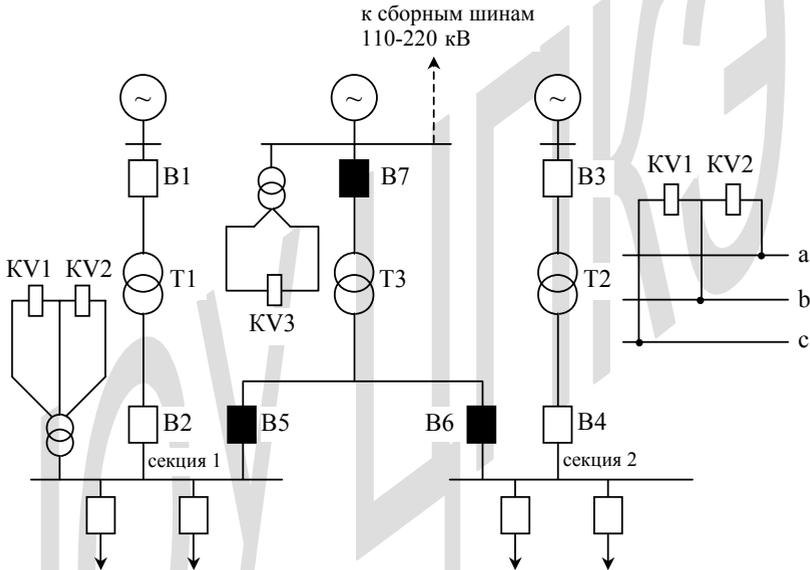


Рис.1.8. Схема питания двух секций с резервным трансформатором

Схема питания двух секций с резервным трансформатором показана на рис. 1.8. Общая идеология резервирования здесь аналогична той, которая рассмотрена на примере резервирования линии. В случае выхода из строя рабочего трансформатора, например T1, последний отключается с двух сторон, а питание потребителей первой секции переводится на резервный

трансформатор Т3. Отключение поврежденного трансформатора двумя выключателями устраняет возможность включения резервного трансформатора на поврежденный рабочий трансформатор.

В нормальном режиме трансформатор Т3 отключен и находится в явном резерве. Его включение в работу осуществляется выключателями В5 и В7 при резервировании трансформатора Т1 или выключателями В6 и В7 при резервировании трансформатора Т2.

Напомним, что резервная линия находилась в резерве под напряжением и включалась в работу одним выключателем на приемном конце. Такое решение оправдано, так как потери электроэнергии в линии на холостом ходу невелики. К тому же для управления выключателем на питающем конце линии необходимо иметь контрольный кабель от схемы АВР, что экономически невыгодно.

В нормальном режиме резервный трансформатор отключается с двух сторон – со стороны потребителей и дополнительно со стороны источника питания. Поэтому в режиме резерва трансформатор не находится под напряжением, что дает экономию на потерях холостого хода. Выключатели с низкой и высокой стороны трансформатора находятся на территории одной подстанции, поэтому особых проблем с контрольным кабелем не возникает.

Пуск схемы АВР трансформатора можно осуществить по-разному. Возможен вариант пуска от релейной защиты рабочего трансформатора. При срабатывании газовой или дифференциальной защиты трансформатор отключается от сети, например, выключателями В1 и В2 в случае повреждения трансформатора Т1. Эта же защита запускает схему АВР для включения резервного трансформатора Т3.

Возможен пуск схемы с помощью реле минимального напряжения, как это осуществлено в схеме АВР линии. Выбор варианта определяется дополнительными обстоятельствами.

Схема АВР трансформатора для подстанции с двумя рабочими трансформаторами показана на рис. 1.9. Для упрощения показана схема резервирования одного трансформатора Т1. Для трансформатора Т2 схема АВР аналогична.

Пуск схемы осуществляется с помощью реле минимального напряжения KV1 и KV2. По истечении выдержки времени реле времени КТ пода-

ется сигнал на промежуточное реле KL1 и далее через контакты KL1.1 и KL1.2 на отключающие катушки УАТ1 и УАТ2.

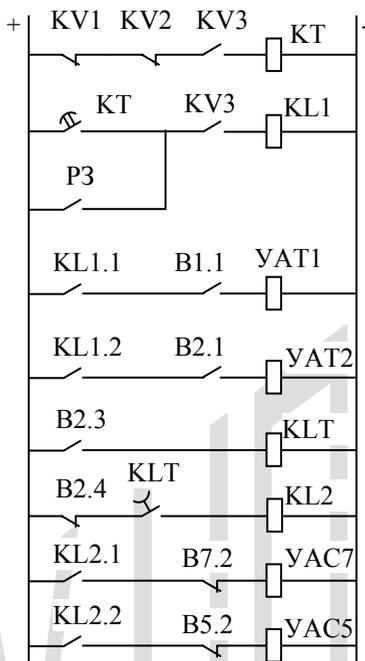


Рис.1.9. Схема АВР трансформатора

Вспомогательные контакты выключателя В2.3 снимают напряжение с промежуточного реле КЛТ. Это реле имеет задержку на отпускание якоря, что обеспечивает однократность включения резервного трансформатора. При отключении выключателя В2 его контакты В2.4 запускают реле КЛ2, которое в свою очередь подает сигналы на катушки включения УАС5 и УАС7. После выдержки времени, достаточной для однократного включения выключателей В5 и В7, контакты реле КЛТ размыкаются и разрывают цепь реле КЛ2.

Если резервный трансформатор включился на устойчивое к.з. на сборных шинах секции 1, то действием релейной защиты он отключится. Повторного включения резервного трансформатора не произойдет, так как к этому

времени контакты реле KLT разомкнутся и сигнал на катушки включения УАС5 и УАС7 не поступит. В случае неявного резерва до цикла АВР каждый трансформатор работает на нагрузку своих потребителей, подключенных к секции (рис. 1.10). Секционный выключатель В5 нормально отключен. В аварийном режиме оба трансформатора взаимно резервируют друг друга.

На рис. 1.11 показана упрощенная схема АВР. При отключении одного из трансформаторов, например первого, вспомогательные контакты выключателя В2.3 размыкают цепь реле KLT. Контакты В2.4 замыкаются и подают напряжение на промежуточное реле KL1, которое срабатывает и своими контактами замыкает цепь питания катушек включения выключателей УАС3, УАС4 и УАС5.

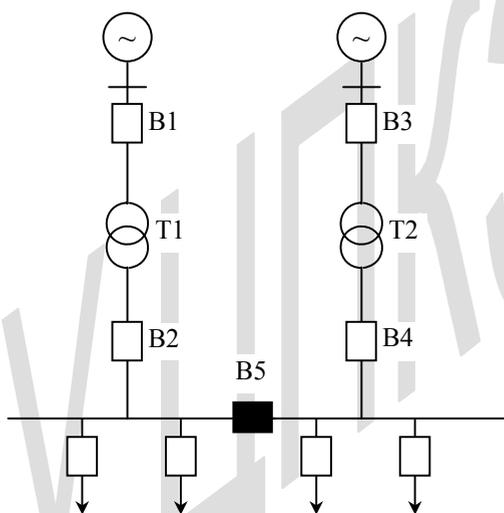


Рис. 1.10. Схема питания двух секций с неявным резервированием

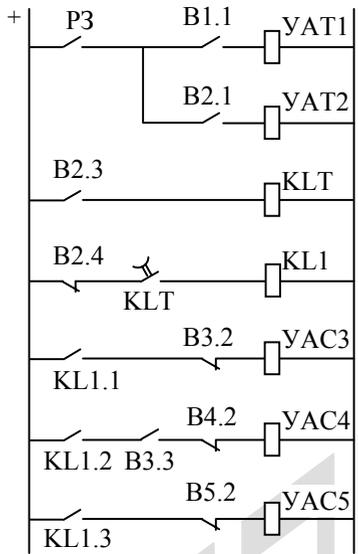


Рис.1.11. Схема АВР трансформатора с действием на секционный выключатель

Если трансформатор Т2 был включен, то включается только секционный выключатель В5. При отключенном трансформаторе Т2 будут включаться три выключателя. Для устранения перегрузки аккумуляторной батареи за счет одновременного включения трех выключателей предусматривается блокировка с помощью дополнительных контактов выключателя В3. Выключатель В4 включается только после того, как выключатель В3 уже включен.

В рассмотренных случаях после действия схемы АВР на первую секцию подается напряжение от трансформатора Т2. Аналогичным образом трансформатор Т2 резервируется трансформатором Т1.

Следует иметь в виду, что в случае неявного резерва трансформаторы оказываются перегруженными. В целях устранения перегрузки остающегося в работе трансформатора часть менее ответственных потребителей должна быть отключена. Величина мощности отключенных потребителей должна быть обоснована расчетом.