Записки Ленинградского Горного Института. Том XI, вып. 3, 1938
Annales de l'Institut des Mines à Léningrad. Vol. IX, liv. 3, 1938

Автоматизация компрессорных установок с приводом от синхронного двигателя

Проф. Ф. Н. Шклярский

Automatisation of compressor plants driven by synchronous motors

Prof. F. N. Szklarski

I. Общие соображения о пуске синхронного двигателя

Пуск синхронных двигателей в настоящее время осуществляется как при полном, так и при пониженном напряжении.

Независимо от применяемого способа пуска синхронного двигателя, ротор последнего, помимо обмотки возбуждения, питаемой нормально постоянным током, снабжается еще короткозамкнутой пусковой обмоткой [1]), которая в период пуска превращает синхронный двигатель в асинхронный с короткозамкнутым ротором, с присущими этому двигателю пусковыми свойствами.

Обе указанные роторные обмотки, не будучи соединенными между собою электрически, представляют в период пуска как бы два независимых вторичных контура, участвующих в создании развиваемого двигателем момента вращения [2]). При работе двигателя с полной (синхронной) скоростью короткозамкнутая пусковая обмотка играет роль успокоительной (демпферной) обмотки.

В синхронном двигателе, как известно, различают три момента вращения: a) пусковой момент, имеющий место в самом начале пуска, т. е. при скольжении $s = 1$; b) втягивающий (входной) момент, развиваемый двигателем при скольжении $s \cong 0{,}05$ [3]), благодаря возникающему при этом взаимодействию поля статора с полем индукторов ротора в результате включения возбуждения; c) момент, соответствующий синхронному (рабочему) режиму.

Для того, чтобы пуск синхронного двигателя, приводящего в действие определенную машину-орудие, в данном случае поршневой компрессор, мог состояться, необходимо, чтобы: 1) пусковой (начальный) момент вращения двигателя соответ-

---

[1]) Клетка Леблана.

[2]) В действительности в период пуска ускорение синхронного двигателя обусловлено результатом взаимодействия пяти вращающих моментов: 1) индукционного момента, создаваемого короткозамкнутой обмоткой ротора, 2) момента, обусловленного замкнутым контуром обмотки возбуждения, 3) момента, создаваемого токами Фуко, 4) гистерезисного момента и 5) реактивного момента, обусловленного конструкцией явно выраженных полюсов. (Проф. В. К. Попов. Применение электродвигателей в промышленности, ч. II, вып. I, стр. 235. 1935.)

[3]) Чему соответствует $\sim 95\%$ синхронной скорости.

ствовал начальному моменту сопротивления машины-орудия [1]), 2) втягивающий (входной) момент двигателя был несколько выше момента сопротивления машины-орудия при ∞95% синхронной скорости.

На основании сказанного следует заключить, что оба указанных момента, развиваемые двигателем при его пусковом режиме, а именно, пусковой и втягивающий моменты, должны соответствовать условиям пуска, предъявляемым машиной-орудием.

Здесь следует указать, что обмотка возбуждения синхронного двигателя, приключаемая к питающему ее источнику постоянного тока при достижении двигателем ∞95% синхронной скорости, в период пуска замыкается на так называемое *разрядное* сопротивление. Простое замыкание накоротко обмотки возбуждения в период пуска является неприемлемым по тем соображениям, что при этом имело бы место снижение пускового момента двигателя в результате обратного влияния синхронной составляющей поля ротора; следствием указанного явления появилась бы опасность устойчивой работы двигателя [2]) при достижении им ∞50% синхронной скорости; этот режим известен под названием одноосного включения. С другой стороны, если обмотку возбуждения в период пуска оставить открытой, то индуктируемая в ней электродвижущая сила, особенно в начальный момент пуска, может достигнуть значений порядка нескольких тысяч вольт, в результате чего оказалась бы в опасности изоляция этой обмотки; указанное явление может оказаться опасным также для обслуживающего персонала.

Кроме указанных выше соображений, необходимо также иметь в виду, что представляющая собой вторичный контур обмотка возбуждения, замкнутая на разрядное сопротивление, участвует в создании момента вращения двигателя, причем разрядное сопротивление, составляющее главную часть сопротивления указанного контура, влияет на величину пускового и втягивающего моментов, а именно, увеличение разрядного сопротивления влечет за собой увеличение пускового и уменьшение втягивающего момента, и наоборот [3]).

Принимая во внимание все вышеизложенные требования, предъявляемые к обмотке возбуждения со стороны разрядного сопротивления, величину последнего принимают обыкновенно равной десятикратному значению сопротивления обмотки возбуждения.

Следует при этом отметить, что на практике встречаются иногда случаи, когда разрядное сопротивление отсутствует. Так, например, по предложению завода „Электросила“ у быстроходного синхронного двигателя, снабженного ротором с неявно выраженными полюсами [4]), обмотка возбуждения замкнута накоротко через цепь якоря возбудителя (динамо), сидящего на валу указанного двигателя. Поскольку, таким образом, обмотка возбуждения оказывается замкнутой накоротко, возможность возникновения в ней в момент пуска напряжения, опасного для изоляции указанной обмотки, исключена; с другой стороны, так как двигатель применен со сплошным ротором с неявно выраженными полюсами, то для него отсутствует снижение момента вращения при достижении им 50% синхронной скорости, в результате чего отпадает опасность одноосного включения. Что касается пускового момента, развиваемого указанным двигателем, то он оказался достаточным для приведения в действие турбокомпрессора.

1. Пуск при полном напряжении. Этот способ пуска является наиболее простым как по своим операциям, так и по оборудованию пусковой аппаратурой; это обстоятельство составляет его достоинство. Тем не менее имеются условия, ограничивающие применение рассматриваемого способа пуска.

---

[1]) В данном случае начальный момент сопротивления обусловлен суммой статического и динамического моментов.

[2]) С ротором, снабженным явно выраженными полюсами.

[3]) Согласно принципу пускового режима асинхронного двигателя.

[4]) Двигатель мощностью 1720 kVA, 3000 *об/мин* при напряжении 6000 V, приводит в действие турбокомпрессор системы Рато (Rateau) на центральной компрессорной станции Октябрьского рудоуправления в Криворожском бассейне (Бюллетень Электропрома. 1936, № 11, стр. 6).

Прежде всего указанный способ неприменим при относительно малой мощности источника энергии, питающей синхронный двигатель [1]). Дело в том, что величина пускового тока двигателя, работающего в данном случае по принципу асинхронного с короткозамкнутым ротором, обусловленная, главным образом, величиной его реактивного сопротивления, может оказаться настолько значительной, что при недостаточной мощности питающей сети падение напряжения в ней получится гораздо выше допустимого, в результате чего пуск двигателя не сможет быть осуществлен, не говоря уже о том, что работа остальных приемников, питаемых от указанной сети, может оказаться расстроенной.

Далее, в момент включения двигателя возникает крутой фронт волны напряжения, приложенного к вводным виткам статора, что может послужить причиной пробоя изоляции указанных витков. Во избежание последнего явления вводные витки статора должны снабжаться усиленной изоляцией.

Наконец, значительные пусковые толчки тока, присущие асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором, в качестве какового работает синхронный двигатель в период пуска, обусловливают появление соответственных электродинамических усилий в лобовых частях обмоток статора; эти усилия сильнее сказываются у быстроходных двигателей, у которых лобовые части обмоток являются более длинными, чем у тихоходных двигателей, с более короткими лобовыми частями обмоток. Указанное обстоятельство вызывает необходимость прочного укрепления лобовых частей обмоток статора.

Здесь следует отметить, что способ пуска синхронных двигателей при полном напряжении может получить в ближайшее время значительное распространение на рудниках Союза ввиду того, что приведенные выше условия, ограничивающие его применение, во многих случаях практики могут быть устранены.

В самом деле, современные рудничные электрические станции и подстанции часто обладают значительной мощностью, достаточной для непосредственного приключения мощных компрессорных установок; кроме того, выполняемые в настоящее время заводами Союза синхронные тихоходные двигатели, применяемые для приведения в действие поршневых компрессоров, при напряжении до 3000 V допускают непосредственное их включение на полное напряжение [2]).

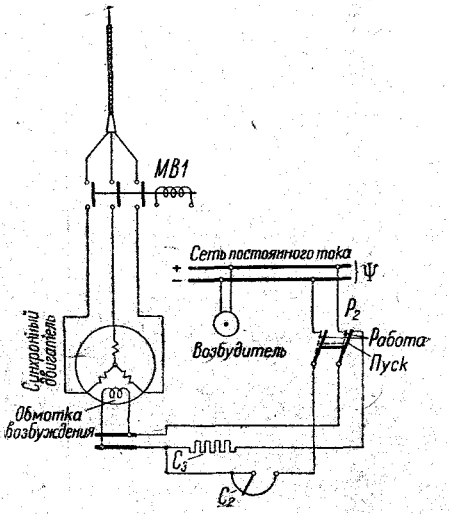


Рис. 1. Принципиальная схема включения синхронного двигателя, пуск которого производится при полном напряжении.

На рис. 1 представлена принципиальная схема включения синхронного двигателя, пуск которого производится при полном напряжении; выполняемые при этом операции состоят в следующем.

1) Переключатель P_2 в цепи возбуждения двигателя ставится в положение „Пуск", в результате чего обмотка возбуждения окажется замкнутой накоротко на разрядное сопротивление C_3.

2) Замыкается главный масляный выключатель *MB1*, в результате чего получается включение статора синхроннго двигателя на полное напряжение.

3) Магнитный регулятор (реостат без выключения) C_2 [3]) ставится в положение, соответствующее возбуждению при холостом ходе [4]); затем, по достижении

[1]) Его статор.

[2]) Что касается возможности непосредственного включения синхронных двигателей на напряжение 6000 V, то этот вопрос в каждом отдельном случае должен быть согласован с заводом-поставщиком.

[3]) В случае расположения возбудителя на валу синхронного двигателя магнитный регулятор C_2 отсутствует.

[4]) Этому возбуждению соответствует 85% номинального напряжения.

двигателем [1]) ∞ 95 % синхронной скорости переключатель P_2 переводится в положение „Работа “, в результате чего получается включение обмотки возбуждения на шины постоянного тока Ψ с одновременным выключением разрядного сопротивления C_3; таким образом, двигателю сообщается возбуждение, обусловливающее создание им втягивающего (входного) момента вращения.

Выполнением последней операции завершается собственно период пуска синхронного двигателя.

При автоматизации управления все указанные выше операции должны выполняться автоматически.

После вхождения двигателя в синхронизм возбуждение его целесообразно отрегулировать таким образом, чтобы в статоре установился минимальный ток, с целью установления минимального значения безваттного тока.

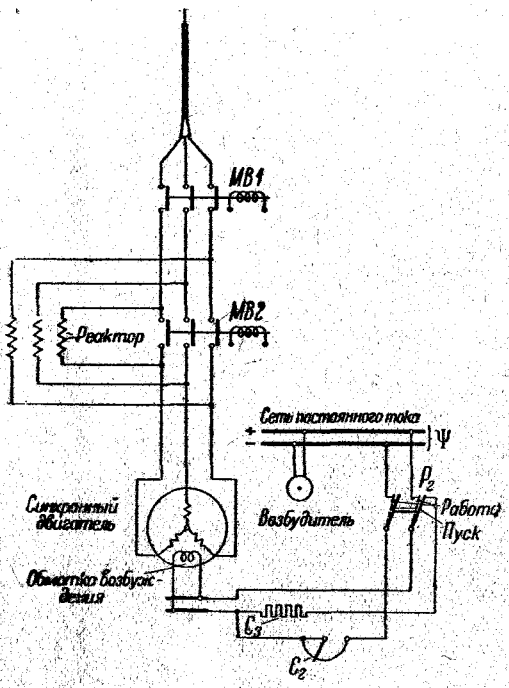


Рис. 2. Принципиальная схема включения синхронного двигателя, пуск которого производится при помощи реактора.

2. Пуск при пониженном напряжении. Если по соображениям недостаточной мощности станции или подстанции, питающей компрессорную установку, или по условиям, присущим самому двигателю, необходимо получить ослабление пускового тока и уменьшение потребляемой при пуске синхронным двигателем мощности, по сравнению с значениями указанных параметров при непосредственном включении двигателя, то пуск последнего приходится производить при пониженном напряжении, подводимом к его статору; правда, при этом соответственным образом уменьшается и развиваемый двигателем момент вращения [2]), что может иногда потребовать соответственного приспособления пускового режима машины-орудия к указанному режиму двигателя.

Ниже рассмотрены два применяемых в настоящее время способа включения двигателя при понижением напряжении.

а. Пуск при помощи реактора. Принципиальная схема включения синхронного двигателя, пуск которого производится при помощи реактора, представлена на рис. 2.

Вследствие падения напряжения в реакторе, включаемом при пуске двигателя в цепь его статора, к двигателю подводится пониженное напряжение, благодаря чему достигается соответственное понижение пускового тока, а также потребляемой двигателем в период пуска мощности; наряду с этим, в результате подводимого к двигателю пониженного напряжения получается, как указывалось выше, соответственное снижение пускового и втягивающего момента вращения двигателя. По окончании периода пуска реактор выключается, в результате чего двигатель оказывается включенным на полное напряжение, при котором и продолжает работать в течение всего периода рабочего режима. Выполняемые операции при пуске двигателя, включенного согласно схеме рис. 2, представляются следующим образом.

---

[1]) Его ротором.

[2]) Момент вращения асинхронного двигателя, в качестве какового работает синхронный двигатель в период пуска, изменяется, как известно, пропорционально квадрату приложенного к нему напряжения.

1) Переключатель P_2 в цепи возбуждения двигателя ставится в положение „Пуск", в результате чего обмотка возбуждения окажется замкнутой накоротко на разрядное сопротивление C_3.

2) Замыкается главный масляный выключатель *MB1*, в результате чего получается включение статора синхронного двигателя через реактор, поглощающий при этом часть подводимого к указанному статору напряжения.

3) Магнитный регулятор (реостат без выключения) C_2 [1]) ставится в положение, соответствующее возбуждению при холостом ходе [2]); затем по достижении двигателем [3]) $\infty 95\%$ синхронной скорости переключатель P_2 переводится в положение „Работа", в результате чего получается включение обмотки возбуждения на шины постоянного тока Ψ с одновременным выключением разрядного сопротивления C_3; таким образом, двигателю сообщается возбуждение, обусловливающее создание им втягивающего (входного) момента вращения.

4) Включается масляный выключатель *MB2*; эта операция обусловливает выключение (шунтирование) реактора, в результате чего получается включение двигателя на полное напряжение.

Выполнением последней операции завершается пуск синхронного двигателя.

При автоматизации управления все указанные выше операции должны выполняться автоматически.

После вхождения двигателя в синхронизм возбуждение его целесообразно отрегулировать таким образом, чтобы в статоре установился минимальный ток.

b. Пуск при помощи автотрансформатора. Принципиальная схема включения синхронного двигателя, пуск которого производится при помощи автотрансформатора, представлена на рис. 3 [4]).

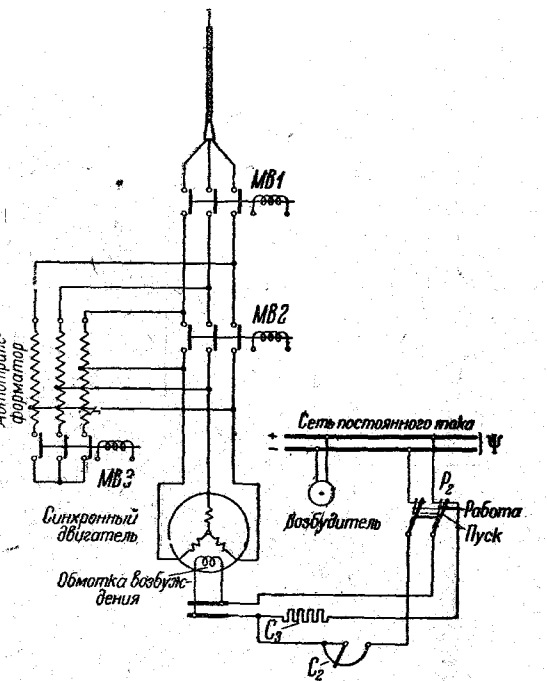


Рис. 3. Принципиальная схема включения синхронного двигателя, пуск которого производится при помощи автотрансформатора.

В начале пуска автотрансформатор должен быть включен в цепь статора двигателя, благодаря чему к указанному статору подводится пониженное напряжение; [5]) это обстоятельство обусловливает соответственное снижение пускового тока и потребляемой двигателем в период пуска мощности, наряду с уменьшением развиваемого им момента вращения. По окончании периода пуска автотрансформатор выключается, в результате чего двигатель оказывается включенным на полное напряжение, при котором и продолжает работать в течение всего периода рабочего режима. Выполняемые операции при пуске двигателя, включенного согласно схеме рис. 3, представляются следующим образом.

1) Переключатель P_2 в цепи возбуждения двигателя ставится в положение „Пуск", в результате чего обмотка возбуждения окажется замкнутой накоротко на разрядное сопротивление C_3.

---

[1]) В случае расположения возбудителя на валу синхронного двигателя, магнитный регулятор C_2 отсутствует.

[2]) Этому возбуждению соответствует 85% номинального напряжения.

[3]) Его ротором.

[4]) Схема Корндорфера.

[5]) Вторичное напряжение автотрансформатора.

2) Замыкается масляный выключатель *MB3*, служащий для образования нуля автотрансформатора.

3) Замыкается главный масляный выключатель *MB1*, в результате чего получается включение статора синхронного двигателя через вторичную обмотку автотрансформатора; эта операция обусловливает получение соответственно пониженного напряжения у зажимов указанного двигателя.

4) Через определенное время размыкается масляный выключатель *MB3*, что приводит к размыканию нуля автотрансформатора, в результате чего последний превращается в реактор с присущим последнему рабочим режимом; получаемое при этом на зажимах двигателя пониженное напряжение окажется более высоким, чем при включении двигателя через автотрансформатор с замкнутым нулем. Таким образом, в рассматриваемом случае в продолжение периода пуска имеет место двухступенчатое изменение приложенного к двигателю напряжения, а именно: сначала, при включенном автотрансформаторе с замкнутым нулем получается первая ступень пониженного напряжения, а затем, при работе автотрансформатора в качестве реактора (с разомкнутым нулем) приложенное к двигателю напряжение соответственно повышается. Указанное применение автотрансформатора обусловливает в период пуска более плавное изменение (повышение) приложенного к двигателю пониженного напряжения, чем в случае включения двигателя только через реактор.

5) Магнитный регулятор (реостат без выключения) C_2 [1]) ставится в положение, соответствующее возбуждению при холостом ходе [2]); затем, по достижении двигателем [3]) ~95% синхронной скорости переключатель P_2 переводится в положение „Работа", в результате чего получается включение обмотки возбуждения на шины постоянного тока Ψ с одновременным выключением разрядного сопротивления C_3; таким образом двигателю сообщается возбуждение, обусловливающее создание им втягивающего (входного) момента вращения.

6) Включается масляный выключатель *MB2* [4]), что приводит к выключению полностью (шунтированию) автотрансформатора; в результате этой операции получается включение двигателя на полное напряжение.

Выполнением последней операции завершается пуск синхронного двигателя.

При автоматизации управления все указанные операции должны выполняться автоматически.

После вхождения двигателя в синхронизм возбуждение его целесообразно отрегулировать таким образом, чтобы в статоре установился минимальный ток.

В заключение следует отметить, что для крупных быстроходных двигателей, а также в случае необходимости получения от двигателя значительного пускового момента, при невозможности непосредственного его включения на полное напряжение, наряду с автотрансформаторным пуском применяется также комбинированный пуск, осуществляемый путем применения параллельного включения реактора с автотрансформатором [5]).

II. Автоматизация возбудительных агрегатов

1. Система с низковольтными двигателями возбудительных агрегатов. На рис. 4 представлена схема коммутации трех мотор-генераторных агрегатов, [6]) обслуживающих возбуждение синхронных компрессорных двигателей [7]), равно как

---

[1]) В случае расположения возбудителя на валу синхронного двигателя, магнитный регулятор C_2 отсутствует.

[2]) Этому возбуждению соответствует 85% номинального напряжения.

[3]) Его ротором.

[4]) Обыкновенно сблокированный с выключателем *MB3*.

[5]) Более подробные сведения о комбинированном пуске см. в специальной литературе.

[6]) Схема на рис. 4 заимствована из материалов Ленгипроруды, предоставленных Ленинградскому горному институту.

[7]) В рассматриваемом случае возбудители (генераторы) не находятся на одном валу с синхронными двигателями, а приводятся во вращение особыми асинхронными двигателями.

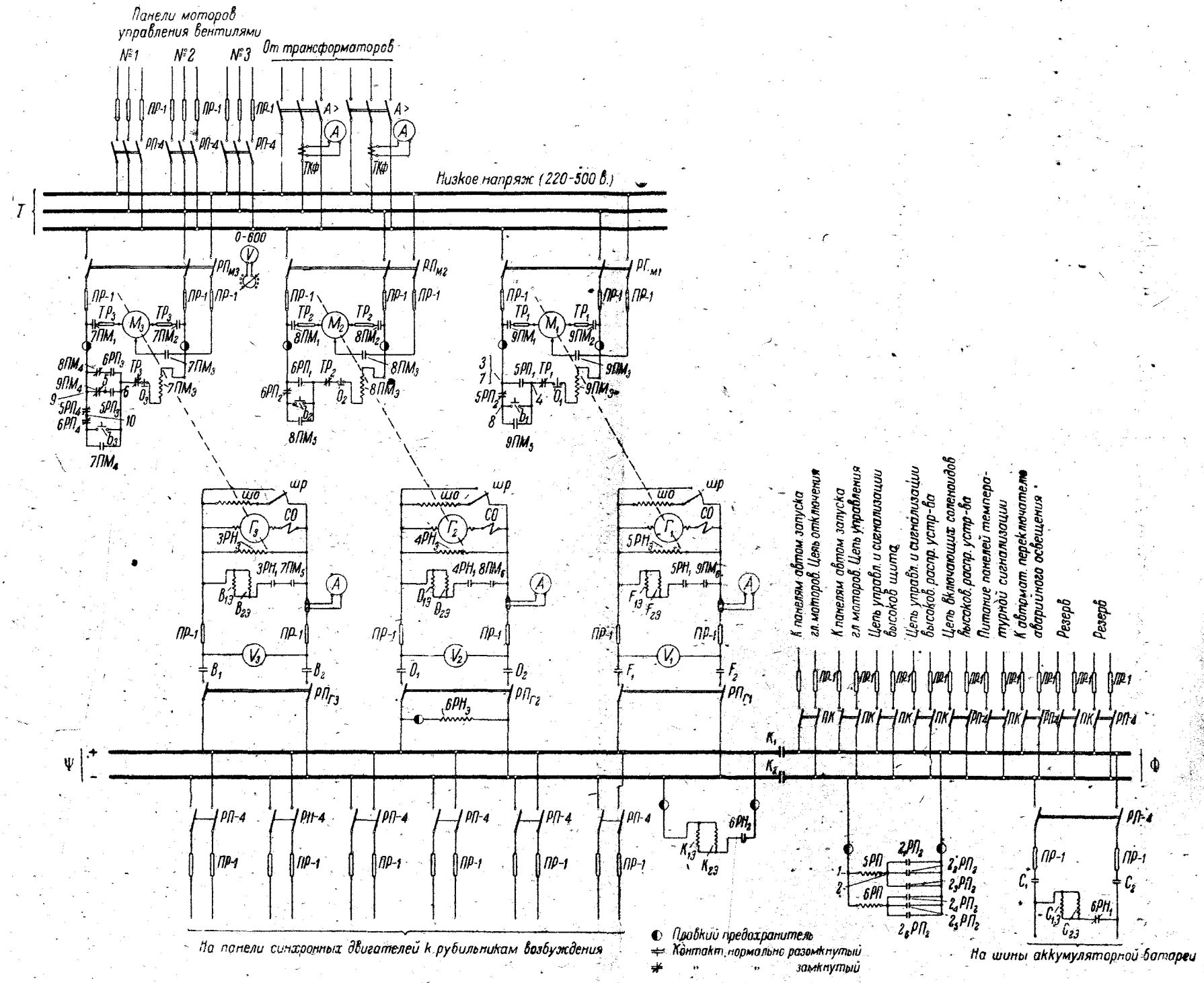


Рис. 4. Автоматизированная схема коммутации возбудительных агрегатов с низковольтными двигателями.

соответственные цепи управления и сигнализации; два из этих агрегатов, а именно, M_1—$Г_1$ и M_2—$Г_2$ являются рабочими, третий же, M_3—$Г_3$— резервный.

Каждый возбудительный агрегат обслуживает три синхронных двигателя. Управление указанными агрегатами, т. е. их включение и выключение, автоматизировано; наряду с этим последние операции могут производиться также вручную.

Питаемые от низковольтных шин переменного тока $Т$ [1]) асинхронные двигатели M_1, M_2 и M_3 приводят в действие соответственные компаундные генераторы—возбудители (динамо) $Г_1$, $Г_2$ и $Г_3$ [2]), которые приключены к шинам Ψ, питающим возбуждение синхронных компрессорных двигателей. Последние шины, в случае работы хотя бы одного из возбудителей $Г_1$, $Г_2$, $Г_3$, соединяются при помощи контакторов $К_1$ и $К_2$ [3]) с шинами $Ф$, питающими соответственные цепи управления и сигнализации. В случае бездействия возбудителей, шины $Ф$ питаются энергией от аккумуляторной батареи, которая, таким образом, и обслуживает указанные цепи; контакторы $С_1$ и $С_2$ [4]), включающие аккумуляторную батарею на шины, должны быть при этом замкнуты, контакторы же $К_1$ и $К_2$—разомкнуты, в результате чего шины $Ф$ и Ψ окажутся разъединенными друг от друга.

Таким образом независимо от того, каким путем осуществляется питание шин $Ф$, а именно, от действующих ли возбудителей при замкнутых контакторах $К_1$ и $К_2$, или от аккумуляторной батареи при замкнутых контакторах $С_1$ и $С_2$ в случае бездействия возбудителей, шины $Ф$ всегда находятся под напряжением.

От шин $Ф$ получают питание промежуточные реле *5РП* и *6РП*, [5]) замыкание которых осуществляется посредством контактов $2_iРП_2$, [6]) где $i = 1, 2, 3$ для реле *5РП* и $i = 4, 5, 6$ для реле *6РП*; в свою очередь, контакты $2_iРП_2$ замыкаются в результате действия (срабатывания) соответственных реле—давления и водяного; количество контактов $2_iРП_2$ соответствует числу водяных реле и реле давления, обслуживающих определенные синхронные двигатели; на схеме рис. 4 имеется шесть контактов $2_iРП_2$, по числу компрессорных двигателей. [7])

---

[1]) Напряжением 220—500 V.

[2]) Напряжением 115 V.

[3]) $К_1$ и $К_2$—собственно главные контакты контакторов, обмотки электромагнитов которых отмечены соответственно знаками $К_{1Э}$ и $К_{2Э}$ (на рис. 4 под шинами Ψ справа).

[4]) $С_1$ и $С_2$—собственно главные контакты контакторов, обмотки электромагнитов которых отмечены соответственно знаками $С_{1Э}$ и $С_{2Э}$ (на рис. 4 под шинами $Ф$).

[5]) На схеме рис. 4 реле *5РП* и *6РП* расположены под шинами $Ф$ (слева).

[6]) Контакты $2_iРП_2$ монтированы у соответственных синхронных двигателей (см. контакт $2_1РП_2$ промежуточного реле $2РП_Э$ на схеме рис. 9).

[7]) В качестве реле давления применены „ограничители" давления типа *ОД7Б* комбината „Уралэлектромашина" в предположении выполнения их с двумя контактами; в случае, если бы упомянутый комбинат отказался выполнить ограничители давления с двумя контактами, то представилось бы необходимым применить выпускаемые комбинатом ограничители давления типа *ОД7Б* с одним контактом, в сочетании с промежуточными реле типа *РП-2*.

При шести компрессорах, из которых каждый снабжен отдельным воздухосборником с монтированным на нем особым реле давления, регулировка этих реле может быть произведена, примерно, в следующих границах давления сжатого воздуха.

Верхним пределом регулировки всех шести реле давления является 7 *ат*, при которых они должны срабатывать в сторону размыкания как определенного контакта $2_iРП_2$ промежуточных реле *5РП* или *6РП*, составляющих исходную часть действия схемы автоматизации управления возбудителями, так и соответственного контакта промежуточного реле, обусловливающего в конечном результате размыкание масляного выключателя синхронного двигателя, приводящего в действие соответственный компрессор (см. главу III).

Что касается нижних пределов давления воздуха, при которых указанные реле давления должны срабатывать в сторону замыкания вышеупомянутых контактов соответственных промежуточных реле, то эти пределы могут быть установлены, примерно, следующим образом.

1-е	реле	регулируется	на	срабатывание	при	6,8 *ат*
2-е	„	„	„	„	„	6,6 „
3-е	„	„	„	„	„	6,4 „
4-е	„	„	„	„	„	6,2 „
5-е	„	„	„	„	„	6,0 „
6-е	„	„	„	„	„	5,8 „

При замыкании одного из контактов $2_1РП_2$ замыкается соответственно цепь реле *5РП* или *6РП*. Предположим, что сработает реле давления, обслуживающее воздухосборник компрессора № 1; тогда замкнется контакт $2_1РП_2$, производящий замыкание цепи реле *5РП* [1]), в результате чего получится замыкание контакта $5РП_1$ [2]) последнего реле; этот контакт, в свою очередь, произведет замыкание [3]) питаемой от шин переменного тока *Т* цепи катушки электромагнита $9ПМ_Э$ контактора [4]), главные контакты которого $9ПМ_1$, $9ПМ_2$ и $9ПМ_3$ при своем замыкании производят включение асинхронного двигателя $М_1$ [5]), приводящего в действие генератор-возбудитель $Г_1$.

Здесь следует отметить, что промежуточное реле *5РП* снабжено четырьмя контактами, два из которых, а именно, упомянутый выше контакт $5РП_1$ и контакт $5РП_3$ [6]), замыкаются в результате замыкания цепи катушки указанного реле, два же других контакта — $5РП_2$ [7]) и $5РП_4$ — оказываются разомкнутыми при замкнутой цепи катушки реле *5РП*; замыкаются последние контакты при невозбужденном реле [8]).

С упомянутым выше контактором (магнитным пускателем), включающим двигатель $М_1$, механически сблокированы контакты $9ПМ_5$ [9]) и $9ПМ_6$ [10]), которые замыкаются в результате замыкания цепи обмотки электромагнита $9ПМ_Э$; имеется

Таким образом, если, например, давление в воздухосборниках окажется равным 7 *ат*, то все реле давления будут находиться в положении, соответствующем выключению всех возбудителей и синхронных двигателей. Если, предположим, давление в воздухосборниках упадет до 6,8 *ат*, то сработает реле давления компрессора № 1 в сторону включения соответственного возбудителя и синхронного двигателя, приводящего в действие этот компрессор, который вследствие этого начнет работать; если после включения в работу указанного компрессора расход воздуха будет продолжать расти, в результате чего давление в воздухосборниках упадет до 6,6 *ат*, то должно сработать реле давления компрессора № 2 в сторону включения двигателя, приводящего в действие компрессор № 2. В случае дальнейшего увеличения расхода воздуха будет происходить постепенное срабатывание реле давления, воздухосборников компрессоров № 3, 4, и т. д. до тех пор, пока суммарная производительность введенных в работу компрессоров не покроет расход воздуха, потребляемого всеми приемниками.

Наоборот, при уменьшении потребления воздуха давление в воздухосборниках станет возрастать, в результате чего начнут срабатывать соответственные реле давления в обратном порядке, по сравнению с вышеописанным, в сторону выключения как возбудителей, так и компрессорных двигателей; следствием этого явится постепенная остановка соответственных компрессоров.

[1]) В предположении, что цепь реле *5РП* не была раньше замкнута контактами $2_2РП_2$ и $2_3РП_2$, что, в свою очередь, соответствует состоянию покоя компрессорных агрегатов № 2 и 3.

[2]) На схеме рис. 4 контакт $5РП_1$ расположен у двигателя $М_1$ возбудительного агрегата $М_1—Г_1$.

[3]) В предположении, что ручной выключатель $РП_{М1}$ замкнут.

[4]) Магнитного пускателя типа *ПМ-4*.

[5]) С короткозамкнутым ротором.

[6]) На схеме рис. 4 контакты $5РП_3$ и $5РП_4$ расположены у двигателя $М_3$ резервного возбудительного агрегата $М_3—Г_3$.

[7]) На схеме рис. 4 контакт $5РП_2$ расположен у двигателя $М_1$.

[8]) В качестве реле *5РП* (а также *6РП*) применено промежуточное реле типа *РП-2 а*, принципиальная схема которого представлена на рис. 5 с обозначениями, соответствующим таковым на рис 4.

[9]) На схеме рис. 4 контакт $9ПМ_5$ расположен у двигателя $М_1$.

[10]) На схеме рис. 4 контакт $9ПМ_6$ расположен у генератора $Г_1$. Назначение этого контакта состоит в обесточивании обмоток контакторных электромагнитов $F_{1Э}$ и $F_{2Э}$ генератора $Г_1$ при остановке двигателя $М_1$. В самом деле, при отсутствии контакта $9ПМ_6$ остановка указанного двигателя обусловливает также остановку генератора $Г_1$; между тем, если шины *Ш* будут находиться под напряжением, в случае, например, продолжающейся работы генератора $Г_2$ или $Г_3$, то контакторные электромагниты $F_{1Э}$ и $F_{2Э}$ будут продолжать находиться в возбужденном состоянии, обусловливающем замыкание контактов F_1 и F_2, в результате чего окажутся под напряжением: обмотки указанных электромагнитов $F_{1Э}$ и $F_{2Э}$, обмотка реле $5РН_Э$, обмотки возбуждения (*ШО* и *СО*) генератора $Г_1$, равно как и якорь последнего; указанное нежелательное явление не будет иметь места в случае наличия контакта $9ПМ_6$, размыкаемого вместе с размыканием обмотки электромагнита $9ПМ_Э$.

еще контакт $9ПМ_4$ [1]), который сблокирован с тем же контактором (магнитным пускателем) таким образом, что при замыкании обмотки электромагнита $9ПМ_Э$ означенный контакт размыкается, и наоборот, при разомкнутой обмотке $9ПМ_Э$ контакт $9ПМ_4$ является замкнутым, каковое его положение в качестве нормального и изображено на схеме рис. 4.

Когда после приключения двигателя M_1 к шинам T агрегат $M_1—Г_1$ достигнет нормального числа оборотов, при котором получается полное напряжение на зажимах генератора $Г_1$, то возбудится приключенное к нему реле напряжения $5РН_Э$ [2]), в результате чего произойдет замыкание его контакта $5РН_1$, что, в свою очередь, обусловливает замыкание цепи обмоток электромагнитов $F_{1Э}$ и $F_{2Э}$ контакторов, [3]) главные контакты которых F_1 и F_2 при этом замкнутся и тем самым произведут включение генератора $Г_1$ на шины $Ψ$. [4])

С появлением напряжения на шинах $Ψ$ окажется возбужденным реле напряжения $6РН_Э$ [5]), которое своим контактом $6РН_2$ [6]) замкнет цепь обмоток контакторных электромагнитов $К_{1Э}$ и $К_{2Э}$, следствием чего явится замыкание контакторов $К_1$ и $К_2$, производящих, как указывалось выше, соединение шин $Ψ$ и $Ф$, что, в свою очередь, обусловливает питание последних шин ($Ф$) от генератора $Г_1$. Вместе с тем, под действием катушки реле $6РН_Э$, произойдет размыкание его контакта $6РН_1$ [7]), и разрыв цепи обмоток электромагнитов $С_{1Э}$ и $С_{2Э}$ контакторов, главные контакты которых $С_1$ и $С_2$ при этом разомкнутся и произведут отключение батареи аккумуляторов от шин $Ф$.

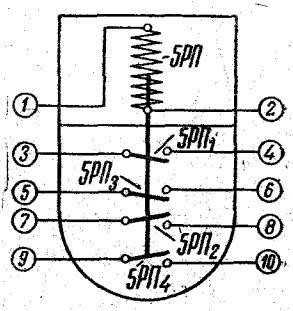


Рис. 5. Принципиальная схема промежуточного реле типа *РП-2а*.

В результате срабатывания одного из реле давления в соответственных воздухосборниках, обслуживающих компрессоры № 2 и 3, происходит замыкание цепи промежуточного реле $5РП$ [8]) посредством контактов $2_2РП_2$ и $2_3РП_2$; эта операция обусловливает производство автоматического пуска возбудительного агрегата $M_1—Г_1$, согласно вышеописанному способу.

При определенном понижении давления в воздухосборнике, обслуживающем компрессор № 1, произойдет размыкание контакта $2_1РП_2$, результатом чего явится

---

[1]) На схеме рис. 4 контакт $9ПМ_4$ расположен у двигателя M_3 резервного агрегата $M_3—Г_3$.

[2]) $5РН_Э$ — собственно обмотка электромагнитного реле напряжения типа *РЭ*.

[3]) Контакт $9ПМ_6$ уже раньше замкнут в результате замыкания контактора (магнитного пускателя), включающего двигатель M_1.

[4]) Здесь следует отметить, что представляется более рациональным включение контакта $9ПМ_6$ не в цепь электромагнитов $F_{1Э}$ и $F_{2Э}$, как это имеет место на схеме рис. 4 (см. сноску [10]) на стр. 52), а в цепь реле напряжения $5РН_Э$ на основании тех соображений, что при этом получилась бы некоторая экономия в меди проводки, так как катушка реле $5РН_Э$ по сравнению с катушками $F_{1Э}$ и $F_{2Э}$ потребляет ток меньшей силы, вследствие чего требуется провод меньшего сечения. В результате разрыва контакта $9ПМ_6$ при остановке двигателя M_1, в случае включения этого контакта последовательно в цепь реле $5РН_Э$, получится обесточивание последнего реле, каковая операция обусловливает разрыв контакта $5РН_1$, следствием чего является обесточивание электромагнитов $F_{1Э}$ и $F_{2Э}$; результатом последней операции явится размыкание контактов F_1 и F_2, обусловливающее отключение генератора $Г_1$ от шин $Ψ$.

[5]) На схеме рис. 4 реле $6РН_Э$ типа *РЭ* (собственно, его обмотка) расположено у генератора $Г_2$ над шинами $Ψ$.

[6]) На схеме рис. 4 контакт $6РН_2$ расположен под шинами $Ψ$ (справа).

[7]) На схеме рис. 4 контакт $6РН_1$ расположен под шинами $Ф$ (справа).

[8]) В предположении, что цепь реле $5РП$ не была раньше замкнута в результате действия соответственных реле давления.

разрыв цепи промежуточного реле $5РП$ [1]); следствием этого явится размыкание контакта $5РП_1$, обусловливающее разрыв цепи катушки электромагнита $9ПМ_Э$; последняя операция, в свою очередь, послужит причиной размыкания контактов $9ПМ_1$, $9ПМ_2$ и $9ПМ_3$ упомянутого выше контактора, в результате чего получится отключение двигателя M_1 от питающих его шин T.

Аналогичным образом произойдет отключение двигателя M_1 при соответственном понижении давления в воздухосборниках, обслуживающих компрессоры № 2 и № 3, в результате разрыва цепи реле $5РП$ контактами $2_2РП_2$ и $2_3РП_2$.

Наряду с полностью автоматизированным управлением возбудительным агрегатом $M_1—Г_1$ возможно ручное или, вернее, полуавтоматическое выполнение операций его пуска и останова, путем нажатия кнопки b_1 для целей включения двигателя M_1 и нажатием кнопки O_1 в случае необходимости произвести его остановку.

Нажатие кнопки b_1 в данном случае перекрывает (шунтирует) контакт $5РП_1$ [2]), замыкаемый при автоматическом управлении под действием замыкания обмотки промежуточного реле $5РП$; следствием указанного нажатия кнопки b_1 явится замыкание цепи обмотки электромагнита $9ПМ_Э$; эта операция, согласно указанному выше, обусловливает замыкание контактов $9ПМ_1$, $9ПМ_2$ и $9ПМ_3$, в результате чего происходит включение двигателя M_1 на шины T.

Здесь следует отметить, что в связи с замыканием цепи контакторного электромагнита $9ПМ_Э$ происходит также замыкание контакта $9ПМ_5$, назначение которого состоит в шунтировании (перекрытии) кнопки b_1, которая после освобождения размыкается; в случае отсутствия контакта $9ПМ_5$, указанное размыкание кнопки b_1 произвело бы разрыв цепи электромагнита $9ПМ_Э$, следствием чего явилось бы размыкание контактов $9ПМ_1$, $9ПМ_2$ и $9ПМ_3$, обусловливающее выключение двигателя M_1.

При нажатии кнопки O_1 получается разрыв цепи электромагнита $9ПМ_Э$, следствием чего является размыкание контактов $9ПМ_1$, $9ПМ_2$ и $9ПМ_3$, что приводит к отключению двигателя M_1 от шин T.

При действии (срабатывании) реле давления и водяного реле, обслуживающих компрессоры № 4, 5 и 6, замкнутся соответственно контакты $2_4РП_2$, $2_5РП_2$ и $2_6РП_2$, каждый из которых обусловливает замыкание цепи промежуточного реле $6РП$ [3]); в результате этого получится замыкание контакта $6РП_1$ [4]) последнего реле, что, в свою очередь, обусловливает замыкание питаемой от шин переменного тока T цепи катушки электромагнита $8ПМ_Э$ контактора (магнитного пускателя) [5]); главные контакты последнего — $8ПМ_1$, $8ПМ_2$ и $8ПМ_3$ — при своем замыкании производят включение асинхронного двигателя M_2, приводящего в действие генератор возбуждения $Г_2$.

Здесь следует отметить, что промежуточное реле $6РП$, подобно упомянутому выше реле $5РП$, снабжено четырьмя контактами, два из которых, а именно, $6РП_1$ и $6РП_3$ [6]), замыкаются в результате замыкания цепи катушки реле, два же других контакта — $6РП_2$ [7]) и $6РП_4$ [6]) — при замкнутой цепи катушки реле $6РП$ оказываются разомкнутыми; замыкаются последние контакты при невозбужденном реле.

---

[1]) В предположении, что контакты $2_2РП_2$ и $2_3РП_2$ были разомкнуты раньше.

[2]) При замкнутом контакте $5РП_2$, каковое положение его является результатом разомкнутой цепи реле $5РП$.

[3]) Реле типа *РП-2а*, принципиальная схема которого представлена на рис. 5.

[4]) На схеме рис. 4 контакт $6РП_1$ расположен у двигателя M_2 возбудительного агрегата $M_2—Г_2$.

[5]) В предположении, что ручной выключатель $РП_{М2}$ замкнут.

[6]) На схеме рис. 4 контакты $6РП_3$ и $6РП_4$ расположены у двигателя M_3 резервного агрегата $M_3—Г_3$.

[7]) На схеме рис. 4 контакт $6РП_2$ расположен у двигателя M_2 возбудительного агрегата $M_2—Г_2$.

С упомянутым выше контактором (магнитным пускателем), включающим двигатель M_2, механически сблокированы контакты $8ПМ_5$ [1]) и $8ПМ_6$ [2]), которые замыкаются в результате замыкания цепи обмотки электромагнита $8ПМ_Э$; имеется еще контакт $8ПМ_4$ [3]), который сблокирован с тем же контактором таким образом, что при замыкании обмотки его электромагнита $8ПМ_Э$ означенный контакт размыкается; нормально же (при разомкнутой обмотке $8ПМ_Э$) этот контакт замкнут.

Когда после приключения двигателя M_2 к шинам T агрегат $M_2—Г_2$ достигнет нормального числа оборотов, при котором получается полное напряжение на зажимах генератора $Г_2$, то возбудится приключенное к нему реле напряжения $4РН_Э$ [4]), в результате чего произойдет замыкание его контакта $4РН_1$, что в свою очередь, обусловливает, при замкнутом контакте $8ПМ_6$, замыкание цепи обмоток электромагнитов $D_{1Э}$ и $D_{2Э}$ контакторов [5]), главные контакты которых D_1 и D_2 при этом замкнутся и тем самым произведут включение генератора $Г_2$ на шины $Ψ$.

С появлением напряжения на шинах $Ψ$ процесс соединения этих шин с шинами $Ф$ и отключение от этих последних аккумуляторной батареи происходит согласно вышеописанному при рассмотрении операций пуска возбудительного агрегата $M_1—Г_1$.

Из изложенного видно, что автоматизация операций пуска возбудительного агрегата $M_2—Г_2$ совершенно аналогична таковой для агрегата $M_1—Г_1$; равным образом являются идентичными операции автоматического выключения указанных агрегатов.

Подобно тому, как это имеет место у агрегата $M_1—Г_1$, пуск и выключение агрегата $M_2—Г_2$ может осуществляться не только автоматически, но и вручную, для чего служат кнопки b_2 и O_2, нажатие которых производит действия, аналогичные вышеописанным при рассмотрении соответственных операций с агрегатом $M_1—Г_1$ [6]).

Что касается агрегата $M_3—Г_3$, то он является резервным на тот случай, если не осуществится пуск агрегатов $M_1—Г_1$ или $M_2—Г_2$, несмотря на включение промежуточных реле $5РП$ или $6РП$ под влиянием замыкания соответственных контактов $2_iРП_2$ в результате действия определенного реле давления и водяного; цепи электромагнитов $9ПМ_Э$ и $8ПМ_Э$ соответственных контакторов (магнитных пускателей), включающих двигатели M_1 и M_2, оказались бы при этом разомкнутыми.

Предположим, что, несмотря на замыкание цепи реле $5РП$, необходимое замыкание контакта $5РП_1$, обусловливающее замыкание цепи $9ПМ_Э$ контактора, включающего двигатель M_1, почему либо не произошло, в результате чего не состоялось предполагаемое включение агрегата $M_1—Г_1$. В таком случае, при замкнутой цепи реле $5РП$ контакт $5РП_3$, как указывалось выше, окажется замкнутым [7]); равным образом, при разорванной цепи электромагнита $9ПМ_Э$ контакт $9ПМ_4$ окажется тоже замкнутым [8]); в связи с этим получится замыкание цепи $7ПМ_Э$ контактора (магнитного пускателя), главные контакты которого $7ПМ_1$, $7ПМ_2$ и $7ПМ_3$ произведут при этом включение двигателя M_3 резервного агрегата $M_3—Г_3$.

---

[1]) На схеме рис. 4 контакт $8ПМ_5$ расположен у двигателя M_2.

[2]) На схеме рис. 4 контакт $8ПМ_6$ расположен у генератора $Г_2$; назначение этого контакта такое же, как контакта $9ПМ_6$ у генератора $Г_1$ (см. сноску [10]) на стр. 52).

[3]) На схеме рис. 4 контакт $8ПМ_4$ расположен у двигателя M_3 резервного агрегата $M_3—Г_3$.

[4]) $4РН_Э$ — собственно обмотка электромагнитного реле напряжения типа *РЭ*.

[5]) Контакт $8ПМ_6$ уже раньше замкнут в результате замыкания контактора, включающего двигатель M_2.

[6]) Нажатие кнопки b_2 в рассматриваемом случае перекрывает контакт $6РП_1$. Что касается контакта $8ПМ_5$, шунтирующего (перекрывающего) кнопку b_2, то назначение его аналогично назначению контакта $9ПМ_5$, обслуживающего двигатель M_1.

[7]) См. стр. 52.

[8]) См. стр. 53.

Следует отметить, что в результате замыкания цепи $7ПМ_Э$ окажутся также замкнутыми сблокированные механически с указанным контактором контакты $7ПМ_4$ [1]) и $7ПМ_5$ [2]).

При достижении агрегатом $М_3—Г_3$ нормального числа оборотов, под действием реле напряжения $3РН_Э$ [3]) произойдет замыкание контакта $3РН_1$, обусловливающее, при замкнутом контакте $7ПМ_5$, замыкание обмоток электромагнитов $В_{1Э}$ и $В_{2Э}$ контакторов, главные контакты которых $В_1$ и $В_2$ при этом замкнутся и тем самым произведут включение генератора $Г_3$ на шины $Ш$.

Равным образом, при замыкании цепи реле $6РП$ соответственным контактом $2_iРП_2$ в результате действия определенного реле давления и в случае несостоявшегося при этом включения агрегата $М_2—Г_2$, тоже произойдет автоматическое включение резервного агрегата $М_3—Г_3$, осуществляемое следующим образом. При замкнутой цепи реле $6РП$ контакт $6РП_3$ оказывается замкнутым [4]); наряду с этим, при разорванной цепи электромагнита $8ПМ_Э$ контактора, включающего двигатель $М_2$, контакт $8ПМ_4$ тоже окажется замкнутым [5]); в связи с этим получится замыкание цепи $7ПМ_Э$ контактора (магнитного пускателя), главные контакты которого $7ПМ_1$, $7ПМ_2$ и $7ПМ_3$ произведут при этом включение двигателя $М_3$ агрегата $М_3—Г_3$.

Нажатие кнопок b_3 и $О_3$ дает возможность производить вручную соответственно пуск и остановку агрегата $М_3—Г_3$ [6]).

Из остальных обозначений на схеме рис. 4 отметим следующие. *ПР-1* — трубчатые предохранители; $ТР_i$ (где $i=1, 2, 3$) — термические (тепловые) реле; *шо* — шунтовые обмотки возбуждения генераторов $Г_1$, $Г_2$, $Г_3$; *шр* — шунтовые регуляторы (реостаты); *СО* — сериесные (компаундные) обмотки генераторов $Г_1$, $Г_2$, $Г_3$; „А>“ — максимальный автомат; *V* — вольтметр, переключаемый на различные фазы шин *Т*; V_i (где $i=1, 2, 3$) — вольтметры генераторов $Г_1$, $Г_2$, $Г_3$; *ТКФ* — трансформатор тока; *ПК* — двухполюсный пакетный выключатель; *РП-4* — двухполюсный ручной рубильник с задним приводом.

2. Система с высоковольтными двигателями возбудительных агрегатов. На рис. 6 [7]) представлена развернутая схема автоматического управления асинхронными двигателями $М_1$, $М_2$, $М_3$, приводящими в действие соответственные генераторы, питающие возбуждение синхронных компрессорных двигателей; схема коммутации указанных генераторов-возбудителей, аналогичная таковой для случая низковольтных возбудителей (рис. 4), изображена на рис. 7 [7]); на рис. 8 [7]) дана схема коммутации фидера, питающего один из упомянутых асинхронных двигателей, в данном случае двигатель $М_1$.

Для примера рассмотрим процесс автоматического пуска асинхронного двигателя $М_1$ возбудительного агрегата № 1. Аналогично тому, как это имело место при рассмотрении схемы на рис. 4 для низковольтных возбудителей, в данном случае под действием соответственного реле давления и водяного должно произойти замыкание определенного контакта $2_iРП_2$, что, в свою очередь, обусловливает замыкание цепи промежуточного реле $5РП$ [8]) (рис. 7).

---

[1]) На схеме рис. 4 контакт $7ПМ_4$ расположен у двигателя $М_3$.

[2]) На схеме рис. 4 контакт $7ПМ_5$ расположен у генератора $Г_3$; назначение этого контакта такое же, как контактов $9ПМ_6$ и $8ПМ_6$ у генераторов $Г_1$ и $Г_2$. (См. сноску [10]) на стр. 52 и сноску [2]) на стр. 55).

[3]) $3РН_Э$ — собственно обмотка электромагнитного реле напряжения типа *РЭ*.

[4]) См. стр. 54.

[5]) См. стр. 55.

[6]) Назначение контакта $7ПМ_4$, шунтирующего (перекрывающего) кнопку b_3, аналогично назначению контактов $9ПМ_5$ и $8ПМ_5$, обслуживающих соответственно двигатели $М_2$ и $М_3$.

[7]) Рис. 6, 7 и 8 заимствованы из материалов Ленгипроруды, предоставленных Ленинградскому горному институту. Согласование обозначений на рис. 8 с обозначениями, приведенными на рис. 6, произведено автором.

[8]) Реле $5РП$ обслуживает компрессорные агрегаты № 1, 2 и 3, агрегаты же № 4, 5 и 6 обслуживаются при помощи реле $6РП$. В качестве указанных реле применено

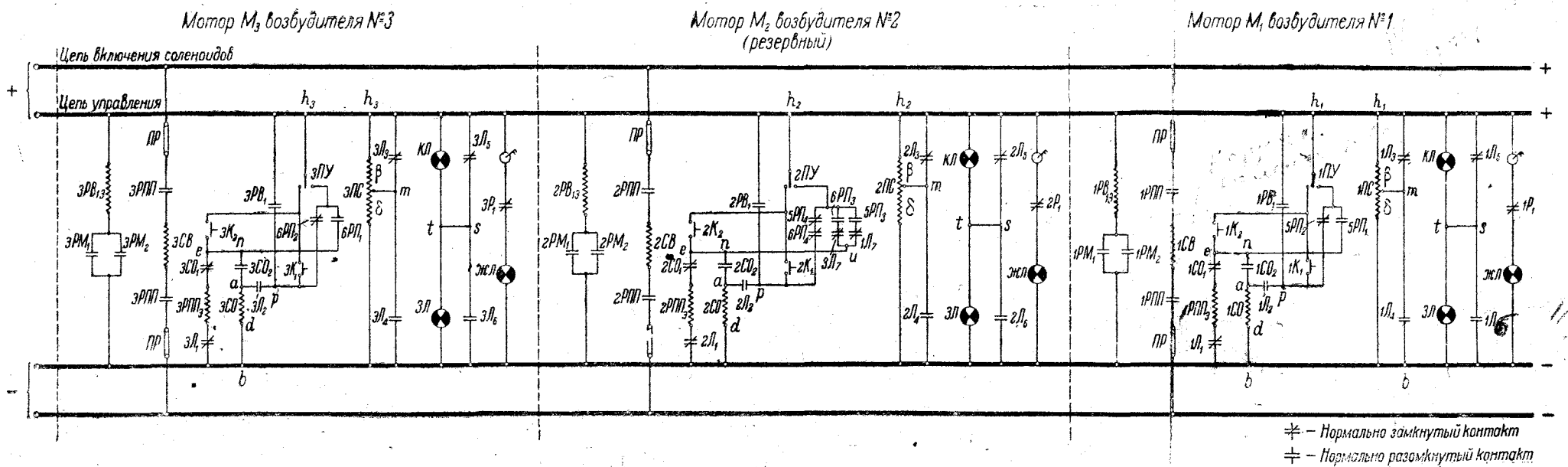


Рис 6. Развернутая схема автоматического управления и защиты высоковольтных двигателей возбудительных агрегатов.

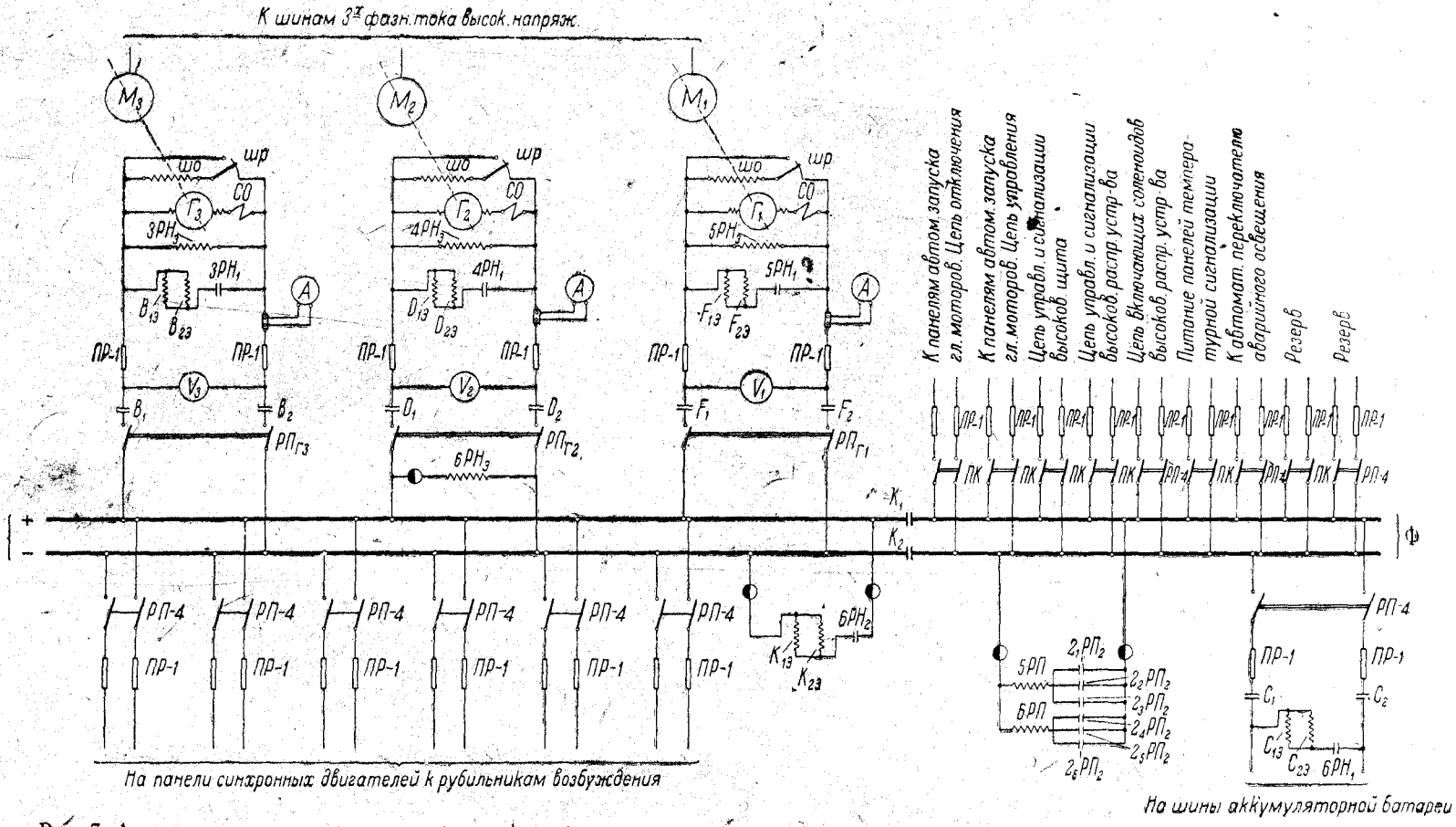


Рис. 7. Автоматизированная схема коммутации возбудителей (генераторов), приводимых в действие высоковольтными двигателями.

Рассмотрим случай замыкания контакта $2_1РП_2$ [1]; в результате последней операции получится замыкание контакта $5РП_1$ (рис. 6 и 8), в предположении, что переключатель *1ПУ* предварительно повернут в правое положение, соответствующее автоматическому управлению; указанный контакт при этом замкнет цепь электромагнита $1РПП_Э$ [2] промежуточного реле, которое своими двумя контактами *1РПП* замкнет, в свою очередь, цепь включающего соленоида *1СВ* [3], про-

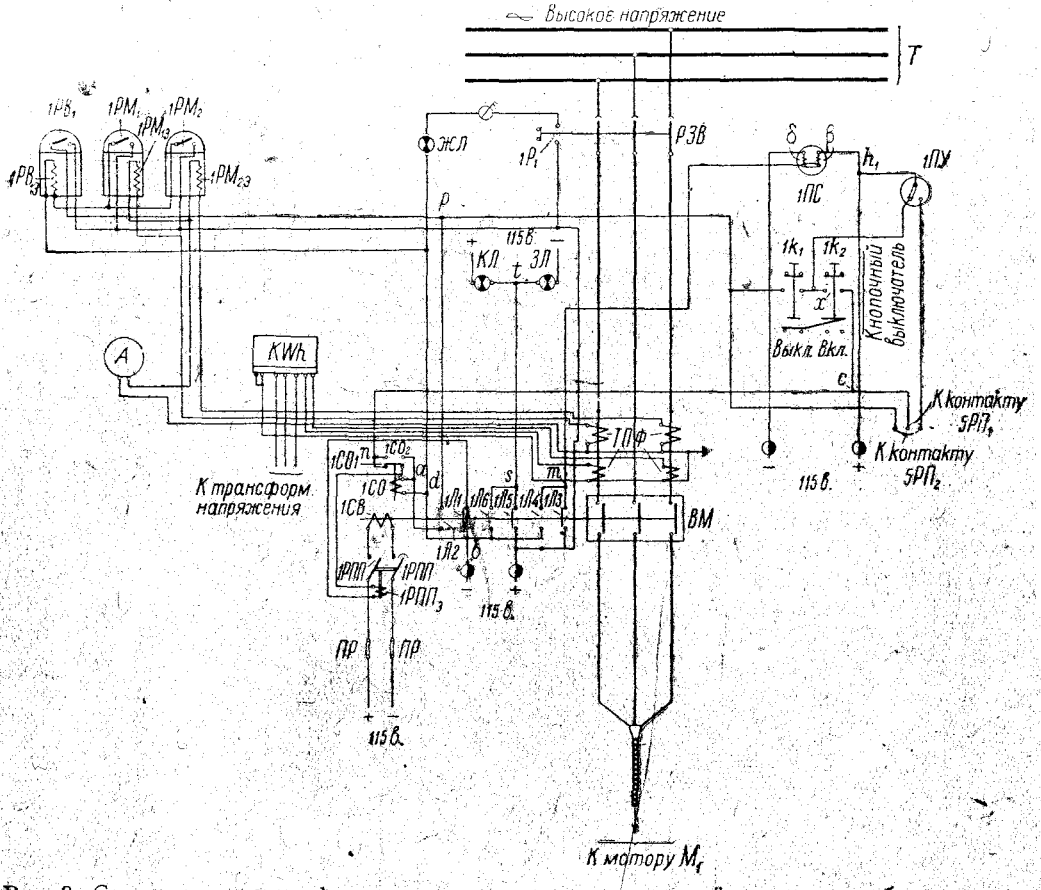


Рис. 8. Схема коммутации фидера, питающего высоковольтный двигатель возбудительного агрегата.

промежуточное реле типа *РП-2а*, принципиальная схема которого представлена на рис. 5. Применительно к схеме на рис. 6 нормально открытыми контактами реле *5РП*, при разорванной его цепи, являются контакты $5РП_1$ и $5РП_3$, из которых первый расположен на указанной схеме у двигателя M_1 возбудителя № 1, а второй — у двигателя M_2 возбудителя № 2; при замыкании цепи реле *5РП* оба указанных контакта замыкаются. Нормально закрытыми контактами, при разорванной цепи реле *5РП*, на схеме рис. 6 являются контакты $5РП_2$ и $5РП_4$; первый из них на указанной схеме расположен у двигателя M_1, а второй у двигателя M_2; оба эти контакта при замыкании цепи реле *5РП* размыкаются.

[1]) В предположении, что цепь реле *5РП* не была раньше замкнута контактами $2_2РП_2$ и $2_3РП_2$, что, в свою очередь, соответствует состоянию покоя компрессорных агрегатов № 2 и 3.

[2]) Путь тока через обмотку электромагнита $1РПП_Э$ на рис. 6 и 8 представляется следующим образом: точка h_1 (левая на рис. 6) положительной шины — переключатель *1ПУ* (правое положение) — замкнутый контакт $5РП_1$ — точка *n* — точка *e* (рис. 6) — контакт *1СО1* — обмотка $1РПП_Э$ — контакт *1Л1* — точка *b* (рис. 8) — отрицательная шина.

[3]) Роль соленоида *1СВ* (рис. 6 и 8) аналогична роли электромагнита *9ПМ* на схеме рис. 4. Путь тока через обмотку *1СВ* представляется следующим образом: верхняя положительная шина на рис. 6 (крайний левый положительный провод на рис. 8) — трубчатый предохранитель *ПР* — замкнутый контакт *1РПП* — обмотка *1СВ* — контакт *1РПП* —

изводящего включение масляного выключателя *ВМ* [1]) (рис. 8), каковая операция и обусловливает включение асинхронного двигателя возбудительного агрегата.

В результате замыкания выключателя *ВМ* (рис. 8) происходит следующее изменение в положениях сблокированных с ним механически контактов [2]), а именно: контакты *1Л2*, *1Л4* и *1Л6* замыкаются, контакты же *1Л1*, *1Л3* и *1Л5* размыкаются.

Замыкание контакта *1Л2* (рис. 6 и 8) подготовляет к замыканию цепь отключающего электромагнита (соленоида) *1СО*; полное замыкание этой цепи [3]), обусловливающее размыкание масляного выключателя *ВМ*, произойдет в результате замыкания контакта $5РП_2$; эта операция, в свою очередь, явится следствием размыкания цепи реле *5РП* (рис. 7) при остановке определенного компрессорного агрегата [4]) под действием соответственного реле давления.

При разомкнутом контакте *1Л4* ток проходит через всю обмотку $(\beta+\delta)$ сигнального прибора *1ПС* [5]), в результате чего его указатель находится в положении, соответствующем выключенному состоянию выключателя *ВМ*; замыкание контакта *1Л4* и размыкание контакта *1Л3* обусловливает прохождение тока через часть β обмотки прибора *1ПС* [6]), следствием чего явится поворот его указателя в положение, соответствующее состоянию включения выключателя *ВМ*.

Замыкание контакта *1Л6* обусловливает замыкание цепи красной лампы *КЛ* [7]), которая вследствие этого загорается.

Размыкание контакта *1Л1* производит разрыв цепи электромагнита $1РПП_э$ (рис. 6 и 8), что, в свою очередь, обусловливает размыкание контактов *1РПП*, влекущее за собой обесточивание включающего соленоида *1СВ*, надобность в действии которого после включения включателя *ВМ* отпадает.

Размыкание контакта *1Л5* производит разрыв цепи зеленой лампы *ЗЛ*, которая вследствие этого тухнет.

В случае желания перейти с полностью автоматизированного управления возбудительным агрегатом № 1 на ручное управление, или вернее на полуавтоматическое, необходимо переключатель *1ПУ* (рис. 6 и 8) повернуть вручную с правого положения в левое (согласно изображенному на рис. 8); тогда нажатие кнопки $1К_2$ кнопочного выключателя (ключа управления) произведет, аналогично осуществляемому контактом $5РП_1$ при автоматическом управлении, включение обмотки электромагнита $1РПП_э$ промежуточного реле, что обусловливает в конечном результате, как указывалось выше, включение масляного выключателя *ВМ* (рис. 8).

В свою очередь, нажатие кнопки $1К_1$ кнопочного выключателя произведет действие аналогичное тому, которое получается при замыкании контакта $5РП_2$ в случае автоматического управления, т. е. замкнет цепь обмотки электромагнита *1СО* (рис. 6 и 8), следствием чего явится размыкание масляного выключателя *ВМ* (рис. 8), обусловливающее отключение асинхронного двигателя возбудительного агрегата № 1.

трубчатый предохранитель *ПР* — нижняя отрицательная шина на рис. 6 (крайний левый отрицательный провод на рис. 8).

[1]) Выключатель типа *ВМ-14*.

[2]) Блокконтактов.

[3]) Путь тока через обмотку электромагнита *1СО* представляется при этом следующим образом (рис. 6 и 8): точка h_1 (левая на рис. 6) положительной шины — переключатель *1ПУ* (правое положение) — замкнутый контакт $5РП_2$ — точка *p* — замкнутый контакт *1Л2* — точка *a* — обмотка *1СО* — точка *d* — точка *b* отрицательной шины.

[4]) В данном случае агрегата № 1.

[5]) Путь тока через обмотку $(\beta+\delta)$ прибора *1ПС* (рис. 6 и 8) представляется следующим образом: точка h_1 (правая на рис. 6) положительной шины — обмотка $(\beta+\delta)$ — отрицательная шина.

[6]) Путь тока через обмотку β прибора *1ПС* (рис. 6 и 8) следующий: точка h_1 (правая на рис. 6) положительной шины — обмотка β — точка *m* — замкнутый контакт *1Л4* — точка *b* (правая на рис. 6) отрицательной шины.

[7]) Путь тока через красную лампу представляется следующим образом: положительная шина (на рис. 8 верхний левый зажим „+“) — лампа *КЛ* — точки *t* и *s* — замкнутый контакт *1Л6* — отрицательная шина (на рис. 8 нижний левый зажим „—“).

Защита фидера, питающего двигатель M_1, осуществляется посредством максимальных мгновенных реле $1РМ_{1Э}$ и $1РМ_{2Э}$ [1]) в сочетании с реле времени $1РВ_{1Э}$ [2]) (рис. 8); при определенной перегрузке указанного двигателя контакты $1РМ_1$ и $1РМ_2$ этих реле (рис. 6 и 8) замыкают цепь реле времени $1РВ_{1Э}$, которое своим контактом $1РВ_1$ производит замыкание цепи отключающего соленоида $1СО$, что обусловливает размыкание масляного выключателя $ВМ$ (рис. 8), результатом чего явится отключение двигателя M_1 от шин $Т$.

Из остальных частей схем на рис. 6 и 8, относящихся к двигателю M_1, отметим следующие. $ЖЛ$ — желтая лампа, являющаяся лампой безопасности, горит при замкнутом разъединителе $РЗВ$ [3]) (рис. 8); цепь указанной лампы замыкается при этом контактом $1Р_1$ (рис. 6 и 8), сблокированным механически с упомянутым разъединителем таким образом, что при замыкании последнего контакт $1Р_1$ тоже замыкается, и наоборот. На рис. 8 знаком $ТПФ$ отмечены трансформаторы тока, служащие для включения соответственных обмоток амперметра $А$, максимальных реле $1РМ_{1Э}$ и $1РМ_{2Э}$, а также счетчика KWh. $ПР$ (рис. 6 и 8) — трубчатые предохранители.

Схема включения и защиты двигателя M_3 возбудителя № 3 совершенно идентична с рассмотренной выше схемой для двигателя M_1. Включение двигателя M_3 происходит в результате замыкания цепи реле $6РП$ (рис. 7 [4]), под влиянием действия соответственного реле давления; следствием этого явится замыкание контакта $6РП_1$ (рис. 6), который, в свою очередь, замкнет цепь электромагнита $3РПП_Э$ промежуточного реле; последнее своими двумя контактами $3РПП$ замкнет при этом цепь соленоида $3СВ$, производящего включение масляного выключателя, что обусловливает включение двигателя M_3 на питающие его шины. Так как все операции, сопутствующие указанному включению двигателя M_3, совершенно идентичны с операциями, описанными выше при рассмотрении коммутации двигателя M_1 [5]), то повторение их описания считаем излишним. Укажем только, что обозначения части схемы на рис. 7, относящейся к двигателю M_3, соответствуют обозначениям, относящимся к двигателю M_1, с тою лишь разницею, что там, где для двигателя M_1 перед буквенными обозначениями стоит цифра *1*, для двигателя M_3 последняя заменена цифрой *3*. Кроме того, назначение контакта $6РП_2$ у двигателя M_3 соответствует назначению контакта $5РП_2$ у двигателя M_1.

Кнопочное управление двигателем M_3 осуществляется при помощи нажатия кнопок $3К_2$ и $3К_1$, назначение которых аналогично назначению соответственно кнопок $1К_2$ и $1К_1$ у двигателя M_1.

Что касается двигателя M_2 (рис. 6), то он обслуживает возбудитель № 2 — резервный. Автоматическое включение указанного двигателя имеет место в том случае, если не осуществится пуск двигателей M_1 или M_3, несмотря на включение промежуточных реле $5РП$ или $6РП$ под влиянием замыкания соответственных контактов $2_iРП_2$ [6]) (рис. 7) в результате действия определенных реле давления и водяных; при этом предполагается, что контакты $5РП_1$ и $6РП_1$ (рис. 6) соответственных промежуточных реле почему-либо не замкнулись, вследствие чего

---

[1]) $1РМ_{1Э}$ и $1РМ_{2Э}$ собственно обмотки электромагнитов максимальных реле, не показанные на схеме рис. 6.

[2]) $1РВ_{1Э}$ собственно обмотка электромагнита реле времени.

[3]) Тип разъединителя $РЗВ_1$.

[4]) Применительно к схеме на рис. 6 нормально открытыми контактами реле $6РП$, при разорванной его цепи, являются контакты $6РП_1$ и $6РП_3$, из которых первый на указанной схеме расположен у двигателя M_3 возбудителя № 3, а второй у двигателя M_2 возбудителя № 2; при замыкании цепи реле $6РП$ оба эти контакта замыкаются. Нормально закрытыми контактами, при разорванной цепи реле $6РП$, являются контакты $6РП_2$ и $6РП_4$, из которых первый на схеме рис. 6 расположен у двигателя M_3, а второй — у двигателя M_2; при замыкании цепи реле $6РП$ оба эти контакта размыкаются

[5]) Рис. 6 и 8.

[6]) Где $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$.

оказались разомкнутыми обмотки электромагнитов соответственно $1РПП_Э$ и $3РПП_Э$, каковое их состояние обусловливает разрыв цепей включающих соленоидов $1СВ$ и $3СВ$ соответственных масляных выключателей $М_1$ и $М_3$.

Следует отметить, что с указанными масляными выключателями механически сблокированы соответственно блокконтакты $1Л_7$ [1]) и $3Л_7$ [2]) (рис. 6) таким образом, что если эти выключатели разомкнуты, то контакты $1Л_7$ и $3Л_7$ замкнуты, и наоборот.

Таким образом, в случае несостоявшегося предполагаемого пуска двигателей $М_1$ или $М_3$, при замкнутых цепях промежуточных реле $5РП$ или $6РП$ (рис. 7) и при разомкнутых масляных выключателях упомянутых двигателей, как указывалось выше [3]), окажутся замкнутыми соответственно контакты: $5РП_3$ и $1Л_7$, в случае несостоявшегося пуска двигателя $М_1$, и контакты $6РП_3$ и $3Л_7$, в случае несостоявшегося пуска двигателя $М_3$; в результате этого окажется замкнутой цепь электромагнита $2РПП_Э$ промежуточного реле [4]), которое своими двумя контактами $2РПП$ замкнет, в свою очередь, цепь соленоида $2СВ$, производящего включение масляного выключателя двигателя $М_2$, что обусловливает включение последнего двигателя.

В остальном схема включения двигателя $М_2$ совершенно идентична со схемами для двигателей $М_1$ и $М_3$. Что касается обозначений на рис. 6 для части схемы, относящейся к двигателю $М_2$, то они соответствуют обозначениям для двигателей $М_1$ и $М_3$ с тою лишь разницею, что перед буквенными обозначениями для них цифры *1* и *3* заменены для двигателя $М_2$ цифрой *2*. Следует еще указать, что у двигателя $М_2$ роль контактов $5РП_4$ и $6РП_4$ соответствует роли контактов $5РП_2$ и $6РП_2$ у двигателей $М_1$ и $М_3$.

Наряду с полностью автоматизированным управлением возможно и кнопочное управление двигателем $М_2$ резервного возбудителя, для чего служат кнопки $2К_1$ и $2К_2$ (рис. 6). При переключателе $2ПУ$, повернутом в левое положение, нажатие кнопки $2К_2$ производит замыкание цепи электромагнита $2РПП_Э$ промежуточного реле, что, как указывалось выше [5]), обусловливает в конечном результате замыкание масляного выключателя, производящего включение двигателя $М_2$. В свою очередь, нажатие кнопки $2К_1$ производит замыкание цепи электромагнита (отключающего соленоида) $2СО$, следствием чего явится размыкание указанного масляного выключателя, приводящее к выключению двигателя $М_2$.

Схема включения генераторов (возбудителей) $Г_1$, $Г_2$ и $Г_3$ на рис. 7 для случая высоковольтных моторов совершенно идентична с соответственной схемой на рис. 4 для низковольтных моторов, при наличии тех же обозначений в обоих случаях. Разница состоит лишь в том, что на схеме рис. 7 отсутствуют включенные в цепь контакторных электромагнитов $F_{1Э}$ и $F_{2Э}$, $D_{1Э}$ и $D_{2Э}$, $B_{1Э}$ и $B_{2Э}$ последовательно с контактами $5РН_1$, $4РН_1$ и $3РН_1$ контакты [6]), разрывающие цепь этих электромагнитов при остановке соответственных двигателей, приводящих в действие генераторы $Г_1$, $Г_2$ и $Г_3$; эти недостающие контакты должны быть сблокированы механически с соответственными масляными выключателями [7]) указанных двигателей таким образом, чтобы при размыкании этих выключателей упомянутые

---

[1]) Контакт $1Л_7$, отсутствующий на схеме рис. 8 сблокирован с масляным выключателем $ВМ$ двигателя $М_1$.

[2]) Контакт $3Л_7$ сблокирован с масляным выключателем двигателя $М_3$.

[3]) См. стр. 58 и 60.

[4]) Путь тока через обмотку электромагнита $2РПП_Э$ (рис. 6) представится при этом следующим образом: точка h_2 (левая) положительной шины — переключатель $2ПУ$ (правое положение) — замкнутые контакты $5РП_3$ и $1Л_7$ или $6РП_3$ и $3Л_7$, соответственно, — точка $и$ — точка $п$ — точка $е$ — контакт $2СО_1$ — обмотка $2РПП_Э$ — контакт $2Л_1$ — отрицательная шина.

[5]) См. стр. 59.

[6]) На схеме рис. 4 соответствуют контакты $9ПМ_6$, $8ПМ_6$ и $7ПМ_5$.

[7]) Применительно к схеме на рис. 8 недостающий контакт должен быть сблокирован с выключателем $ВМ$ двигателя $М_1$, приводящего в действие генератор $Г_1$.

контакты также выключались и тем самым разрывали цепи электромагнитов $F_{1Э}$ и $F_{2Э}$, $D_{1Э}$ и $D_{2Э}$, $B_{1Э}$ и $B_{2Э}$, в результате чего получалось бы размыкание контактов F_1 и F_2, D_1 и D_2, B_1 и B_2, что послужило бы к отключению соответственных генераторов Γ_1, Γ_2 и Γ_3 от шин Ψ.

III. Автоматизация компрессорных агрегатов [1])

При падении давления в соответственном воздухосборнике до предельного нижнего значения замкнется контакт $РД_2$ реле давления (рис. 9) [2]), в результате чего, при замкнутом контакте Σ_1, произойдет замыкание цепи катушки (электромагнита) $А_{1Э}$ контакторного переключателя (магнитного пускателя) $ПМ_1$ двигателя № 1 [3]) водяного вентиля; последняя операция обусловливает замыкание трех левых контактов α_1 переключателя $ПМ_1$, что, в свою очередь, производит включение указанного двигателя в сторону открывания задвижки (вентиля) в трубопроводе охлаждающей воды; по окончании открытия этой задвижки произойдет размыкание контакта Σ_1 шпиндельно-рычажного выключателя $ШВ_1$, приводимого в действие от двигателя № 1 при вращении последнего, в результате чего получится разрыв цепи электромагнита $А_{1Э}$, что обусловливает выключение двигателя № 1. При этом следует отметить, что одновременно с остановкой последнего двигателя произойдет замыкание контакта θ_1 выключателя $ШВ_1$, чем подготовится к замыканию цепь электромагнита $В_{1Э}$ контакторного переключателя $ПМ_1$; окончательное замыкание указанной цепи произойдет в результате замыкания контакта $ЗРП_6$ промежуточного реле [4]), обмотка электромагнита которого $ЗРП_{2Э}$ замыкается, в свою очередь, под влиянием замыкания контакта $РД_1$ реле давления, при определенном повышении давления в соответственном воздухосборнике [5]). Следствием замыкания цепи электромагнита $В_{1Э}$ явится замыкание трех правых контактов β_1 переключателя $ПМ_1$, что обусловливает приведение в действие и вращение двигателя № 1 в сторону закрывания задвижки в трубопроводе охлаждающей воды, надобность в которой отпадает в связи с необходимостью остановки компрессора. По окончании закрытия указанной задвижки двигатель № 1 остановится в результате размыкания контакта θ_1 шпиндельного выключателя $ШВ_1$, что обусловливает разрыв цепи электромагнита $В_{1Э}$ и, как следствие этого, размыкание правых контактов переключателя $ПМ_1$. Одновременно с указанным размыканием контакта θ_1 произойдет замыкание упомянутого выше контакта Σ_1 шпиндельного выключателя $ШВ_1$, благодаря чему подготовится к замыканию цепь электромагнита $А_{1Э}$ переключателя $ПМ_1$; эта цепь окончательно замкнется в результате последующего замыкания контакта $РД_2$ реле давления, что, как указывалось выше, послужит к приведению во вращение двигателя № 1 в сторону открытия задвижки в трубопроводе охлаждающей воды.

Охлаждающая вода при полностью открытой задвижке начнет проходить по трубопроводу, причем, выходя из последнего по отводной трубе, будет сливаться

---

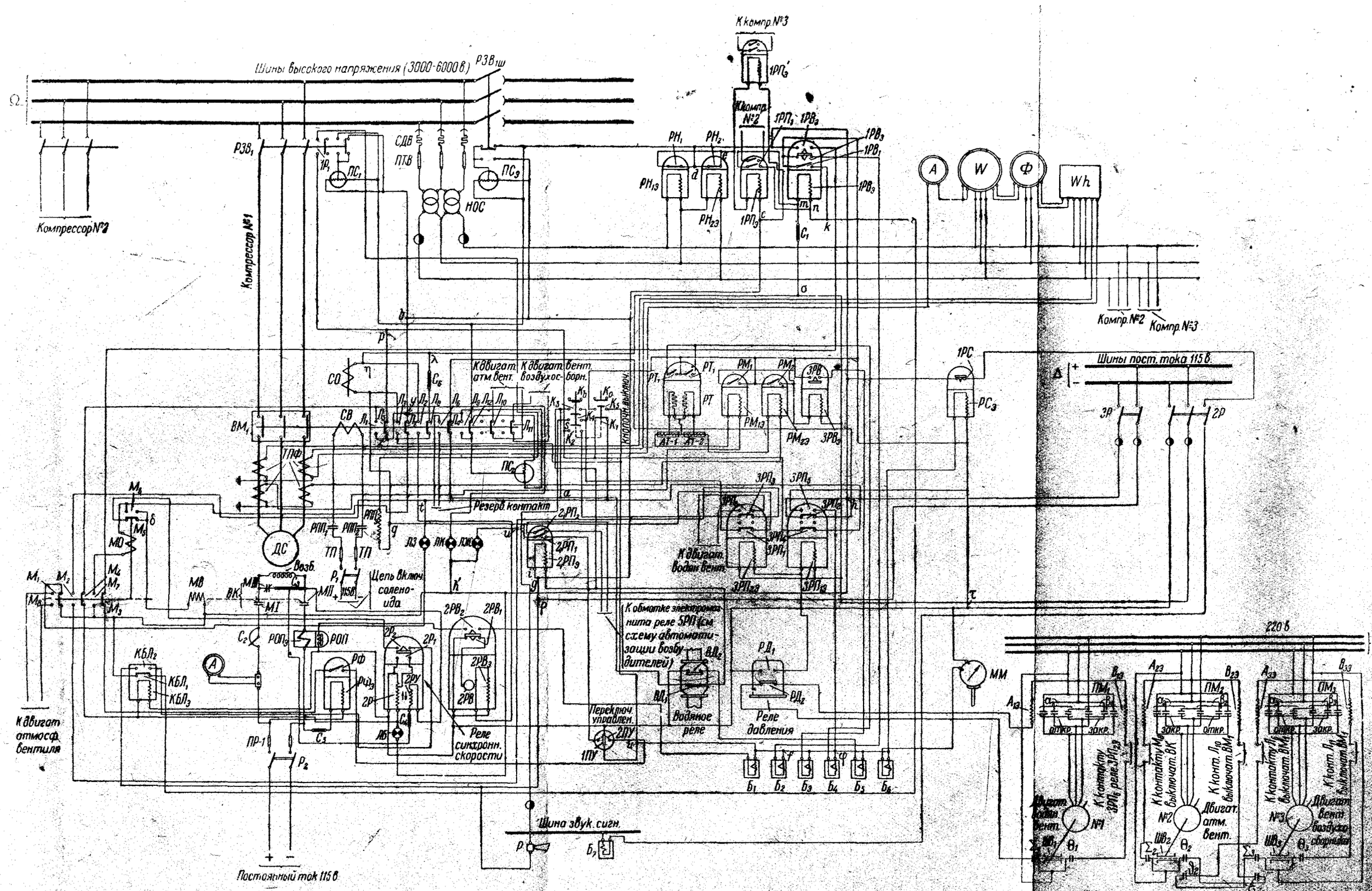
[1]) В настоящей главе автоматизация управления компрессорными установками ограничена рассмотрением случая пуска приводного синхронного двигателя при непосредственном его включении на полное напряжение на основании тех соображений, что этот случай в рудничных условиях может найти значительное применение (см. стр. 47).

[2]) Схема на рис. 9, составленная применительно к аппаратуре, изготовляемой Харьковским электромеханическим и турбогенераторным заводом (ХЭТЗ), заимствована из материалов Ленгипроруды, предоставленных Ленинградскому горному институту. Согласование обозначений на рис. 9 с обозначениями, принятыми на схеме рис. 10 (см. далее), произведено автором.

[3]) Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

[4]) Реле типа *РП-2а*.

[5]) Замыкание контакта $РД_1$ реле давления обусловливает также включение обмотки электромагнита промежуточного реле $ЗРП_{1Э}$, в результате чего получается замыкание его контакта $ЗРП_5$ и размыкание контактов $ЗРП_2$ и $ЗРП_4$; последние контакты оказываются замкнутыми при невозбужденном реле $ЗРП_{1Э}$.



Записки Горного института, т. XI, в. 3.

Рис. 9. Автоматизированная схема коммутации компрессорной установки с приводом от синхронного двигателя.

в воронку, соединенную с водяным реле; в результате прохождения охлаждающей (уже отработанной) воды через водяное реле контакт последнего $ВД_1$ замыкается, включая тем самым обмотку промежуточного реле $2_1РП_Э$ [1]), следствием чего явится замыкание контакта $2_1РП_1$ этого реле, что обусловливает включение в цепь управления обмотки промежуточного реле $РПП_Э$. Цепь тока через обмотку $РПП_Э$ представится при этом следующим образом (рис. 9 и 10 [2]): соединенная с положительной шиной $Д$ точка b (левая на рис. 10) — точки y и z (рис. 9) — сблокированный с выключателем $ВМ_1$ замкнутый контакт $Л_5$ [3]) — точка p — сигнальный контакт $1Р_i$ разъединителя $Р3В_1$ [4]) — обмотка $РПП_Э$ — точка q — контакт $2_1РП_1$ реле $2_1РП_Э$ [5]) — контакт $2ПУ$ переключателя управления [6]) — контакт $РФ$ электромагнитного реле $РФ_Э$ [7]) — сблокированный с контакторным выключателем возбуждения $ВК$ (рис. 9) контакт $М_3$ [8]) — контакт $1РВ_2$ реле времени $1РВ_Э$ [9]) — соединенные с отрицательной шиной $Д$: точка h на рис. 9 и точка x на рис. 10.

После замыкания цепи катушки реле $РПП_Э$ замкнутся контакты последнего $РПП_1$ и $РПП_2$, в результате чего, при замкнутом рубильнике $Р_1$, произойдет включение обмотки $СВ$ [10]) включающего соленоида главного масляного выключателя $ВМ_1$, что, в свою очередь, обусловливает включение на шины $Ω$ высокого напряжения статора синхронного двигателя $ДС$, приводящего в действие компрессор. В связи с включением масляного выключателя $ВМ_1$ произойдет замыкание и размыкание соответственно сблокированных с ним контактов $Л_i$, где $i = 1 \ldots 12$. Роль и значение этих контактов будут выяснены ниже при рассмотрении соответственных операций процесса пуска и способов защиты двигателя $ДС$.

---

[1]) Цепь тока через обмотку $2_1РП_Э$ представляется следующим образом (рис. 9 и 10): положительная шина $Д$ — правый контакт рубильника $3Р$ в цепи управления — точка (зажим) i — обмотка $2_1РП_Э$ — замкнутый контакт $ВД_1$ водяного реле — точка a — сблокированный с главным масляным выключателем $ВМ_1$ замкнутый контакт $Л_4$ — замкнутый контакт $3РП_2$ невозбужденного промежуточного реле $3РП_{1Э}$ — точка h — левый контакт рубильника $3Р$ — отрицательная шина $Д$.

[2]) Схема на рис. 10 заимствована из материалов Ленгипроруды, предоставленных Ленинградскому горному институту.

[3]) Контакт $Л_5$ замкнут при разомкнутом выключателе $ВМ_1$, и наоборот.

[4]) Контакт $1Р_1$ замкнут при замкнутом разъединителе $Р3В_1$, и наоборот.

[5]) При включенной обмотке реле $2_1РП_Э$ контакт его $2_1РП_1$ замкнут.

[6]) Контакт $2ПУ$ переключателя управления предварительно должен быть замкнут вручную.

[7]) При замкнутом рубильнике $Р_2$ обмотка реле $РФ_Э$ (рис. 9) включена, благодаря чему контакт $РФ$ этого реле замкнут. (Назначение реле $РФ_Э$ см. ниже, стр. 71).

[8]) При разомкнутом выключателе $ВК$ контакт $М_3$ замкнут, и наоборот.

[9]) Относительно реле $1РВ_Э$ следует отметить, что оно оказывается возбужденным в том случае, если не зашунтировано контактом $1РП_1$ реле $1РП_Э$, для чего последнее должно быть обесточено; с указанной целью контакты $РН_1$ и $РН_2$ соответственных минимальных реле $РН_{1Э}$ и $РН_{2Э}$, получающих питание от трансформаторов напряжения $НОС$ (рис. 9), должны быть разомкнуты. Таким образом, при наличии нормального напряжения на шинах $Ω$ (рис. 9) контакты $РН_1$ и $РН_2$ реле $РН_{1Э}$ и $РН_{2Э}$ размыкают цепь реле $1РП_Э$, в результате чего оно оказывается обесточенным; в связи с этим контакт $1РП_1$ последнего реле будет разомкнут, результатом чего явится возбуждение реле $1РВ_Э$, обусловливающее замыкание его контактов $1РВ_2$ и $1РВ_1$. Цепь тока, проходящего через обмотку реле $1РВ_Э$, представляется следующим образом (рис. 9 и 10): соединенная через средний контакт рубильника $2Р$ с положительной шиной $Д$ точка σ — добавочное сопротивление $С_1$ — точка m — обмотка $1РВ_Э$ — точка n — точка k (рис. 9) — контакт $1РВ_1$ — точка τ, соединенная через левый крайний контакт рубильника $2Р$ с отрицательной шиной $Д$.

[10]) Цепь тока через обмотку $СВ$ представляется следующим образом (рис. 9 и 10): положительная шина цепи включающих соленоидов — левый контакт рубильника $Р_1$ (рис. 9) — трубчатый предохранитель $ТП$ — контакт $РПП_1$ — обмотка $СВ$ — контакт $РПП_2$ — трубчатый предохранитель $ТП$ — правый контакт рубильника $Р_1$ (рис. 9) — отрицательная шина цепи включающих соленоидов.

Указанной выше операцией включения статора двигателя *ДС* начинается его период *пуска*. Здесь следует иметь в виду, что так как этот двигатель предназначен для приведения в действие компрессора, то является необходимым выполнение определенных операций, обеспечивающих пусковой режим последнего, каковым является его холостой ход; с указанной целью в начале периода пуска должен быть открыт вентиль трубопровода, соединяющего компрессор с атмосферой [1]), и закрыт вентиль трубопровода, соединяющего компрессор с воздухосборником [2]); в конце же периода пуска, который характеризуется операцией включения возбуждения синхронного двигателя, в связи с переходом компрессора с холостого режима на рабочий, наоборот, — первый из указанных вентилей должен быть закрыт, а второй — открыт.

Указанные манипуляции с последними двумя вентилями осуществляются автоматически посредством соответственного включения и выключения двигателей № 2 и № 3, приводящих в действие эти вентили. Здесь считаем уместным остановиться вкратце на характере работы указанных двигателей в связи с необходимостью создания определенных режимов компрессора в соответственные периоды его работы.

В течение периода пуска синхронного двигателя как атмосферный вентиль (находящийся в трубопроводе, соединяющем компрессор с атмосферой), так и вентиль воздухосборника (находящийся в трубопроводе, соединяющем компрессор с воздухосборником), должны быть в неподвижном состоянии, причем, как упоминалось выше, первый из них должен быть открыт, а второй закрыт; в связи с этим двигатели № 2 и 3 в период пуска синхронного двигателя *ДС* находятся в покое в результате разрыва цепей электромагнитов $A_{2Э}$ и $B_{2Э}$ контакторного переключателя (магнитного пускателя) $ПМ_2$ двигателя № 2 и электромагнитов $A_{3Э}$ и $B_{3Э}$ контакторного переключателя (магнитного пускателя) $ПМ_3$ двигателя № 3.

В самом деле, цепь электромагнита $A_{2Э}$ оказывается при этом разорванной контактом M_8, сблокированным с выключателем возбуждения *ВК* таким образом, что когда последний выключатель разомкнут, то контакт M_8 тоже разомкнут, и наоборот; в данном случае, в продолжение периода пуска синхронного двигателя выключатель *ВК*, а следовательно, и контакт M_8, разомкнут. Что касается контакта Σ_2 шпиндельного выключателя $ШВ_2$, приводимого в действие двигателем № 2 при вращении последнего, то указанный контакт в рассматриваемом случае замкнут.

Цепь электромагнита $B_{2Э}$ разорвана в двух местах: 1) контактом $Л_{10}$, который оказывается разомкнутым при замкнутом масляном выключателе $ВМ_1$; 2) контактом σ_3, сблокированным с электромагнитом $A_{3Э}$ переключателя $ПМ_3$ двигателя № 3 таким образом, что когда цепь указанного электромагнита разорвана, то контакт σ_3 разомкнут, и наоборот.

Цепь электромагнита $A_{3Э}$ разорвана контактом ϑ_2, сблокированным с электромагнитом $A_{Э2}$ таким образом, что когда цепь этого электромагнита разорвана, то указанный контакт разомкнут, и наоборот. Что касается контакта Σ_3 шпиндельного выключателя $ШВ_3$, приводимого в действие двигателем № 3 при вращении последнего, то этот контакт в рассматриваемом случае должен быть замкнут.

Цепь электромагнита $B_{3Э}$ разорвана: 1) контактом $Л_{11}$ замкнутого выключателя $ВМ_1$; 2) контактом Θ_3, который должен быть разомкнут шпиндельным выключателем $ШВ_3$.

Операцией включения возбуждения синхронного двигателя *ДС*, которая осуществляется при помощи замыкания выключателя *ВК*, заканчивается период пуска указанного двигателя, в связи с чем вентили атмосферный и воздухосборника должны соответственно изменить свое положение, а именно, первый из них должен закрыться, а второй открыться; с целью осуществления указанных операций,

---

[1]) Атмосферный вентиль.
[2]) Вентиль воздухосборника.

двигатели № 2 и 3, приводящие в движение упомянутые вентили, должны быть автоматически включены для одновременной работы в определенных взаимно противоположных направлениях. Пуск и остановка указанных двигателей производится следующим образом.

В результате замыкания выключателя $ВК$ замкнется сблокированный с ним контакт M_8; тогда, при замкнутом контакте Σ_2 шпиндельного выключателя $ШВ_2$, замкнется цепь электромагнита $A_{2Э}$, а затем контакты α_2 контакторного переключателя $ПМ_2$, что обусловливает включение двигателя № 2 на работу в направлении *закрывания атмосферного вентиля. По окончании закрытия последнего вентиля* цепь электромагнита $A_{2Э}$ окажется разорванной контактом Σ_2 шпиндельного выключателя $ШВ_2$; одновременно с этим произойдет замыкание контакта Θ_2 указанного выключателя и тем самым подготовится в этом месте цепь электромагнита $B_{2Э}$ к замыканию, которое наступит окончательно после замыкания контакта $Л_{10}$, обусловленного размыканием главного масляного выключателя $ВМ_1$ [1]), и после замыкания контакта σ_3, получаемого в результате замыкания обмотки электромагнита $A_{3Э}$ контакторного переключателя $ПМ_3$ [2]). Следствием замыкания цепи электромагнита $B_{2Э}$ явится замыкание контактов β_2 переключателя $ПМ_2$, что обусловливает включение двигателя на работу в сторону открывания атмосферного вентиля, с целью подготовки компрессора к последующему пуску; после окончания открытия указанного вентиля двигатель № 2 будет выключен в результате разрыва контакта Θ_2 шпиндельного выключателя $ШВ_2$, приводимого в действие от двигателя № 2; вместе с тем последний выключатель произведет замыкание контакта Σ_2 и тем самым подготовит в этом месте к замыканию цепь электромагнита $A_{2Э}$, которая окончательно замкнется, как указывалось выше, в результате замыкания контакта M_8, сблокированного с выключателем $ВК$, производящим включение возбуждения синхронного двигателя при окончании периода пуска последнего.

Одновременно с описанным выше пуском двигателя № 2 в сторону закрывания атмосферного вентиля должен происходить пуск двигателя № 3 в сторону открывания вентиля воздухосборника. С указанной целью должна быть замкнута цепь электромагнита $A_{3Э}$, что осуществляется в результате замыкания контакта ϑ_2, сблокированного с электромагнитом $A_{2Э}$ переключателя $ПМ_2$ таким образом, что когда его цепь замкнута, то контакт ϑ_2 тоже замкнут, и наоборот; а так как при пуске двигателя № 2 в сторону закрывания атмосферного вентиля цепь электромагнита $A_{2Э}$, как указывалось выше, должна быть замкнута, то, следовательно, и контакт ϑ_2 тоже будет замкнут. Следствием замыкания цепи электромагнита $A_{3Э}$ переключателя $ПМ_3$ явится замыкание его контактов α_3, в результате чего получится включение двигателя № 3 для работы в требуемом направлении, т. е. в сторону открывания вентиля воздухосборника.

По окончании открытия указанного вентиля цепь электромагнита $A_{3Э}$ окажется разорванной контактом ϑ_2 вследствие происходящего при этом размыкания цепи электромагнита $A_{2Э}$ переключателя $ПМ_2$, что должно происходить одновременно с разрывом цепи электромагнита $A_{3Э}$, так как процессы открытия атмосферного вентиля и закрытия вентиля воздухосборника должны точно совпадать между собою по времени. После разрыва цепи электромагнита $A_{3Э}$ двигатель № 3 остановится, следствием чего явится размыкание контакта Σ_3 и замыкание контакта Θ_3 шпиндельного выключателя $ШВ_3$. Замыканием контакта Θ_3 подготовится к замы-

---

[1]) Размыкание выключателя $ВМ_1$ наступает под действием определенного реле давления в результате соответственного повышения давления в воздухосборнике.

[2]) Контакт σ_3 сблокирован с электромагнитом $A_{3Э}$ контакторного переключателя $ПМ_3$ таким образом, что при замыкании цепи этого электромагнита контакт σ_3 замыкается, и наоборот.

канию цепь электромагнита $B_{3Э}$, которая окончательно замкнется в результате замыкания контакта $Л_{11}$ при размыкании масляного выключателя $ВМ_1$; последняя операция, как выше указывалось, обусловлена действием определенного реле давления при соответственном понижении давления в воздухосборнике. Следствием замыкания цепи электромагнита $B_{3Э}$ явится замыкание контактов β_3 переключателя $ПМ_3$, что обусловливает включение двигателя № 3 на работу в сторону закрывания вентиля воздухосборника и подготовляет тем самым компрессор к последующему пуску, который наступит при соответственном падении давления в воздухосборнике.

После предварительного ознакомления с ролью и характером работы двигателей № 1, 2 и 3, перейдем к дальнейшему рассмотрению автоматизированных операций, характеризующих пуск синхронного двигателя *ДС*.

В связи с описанным выше замыканием главного масляного выключателя $ВМ_1$ произойдет размыкание сблокированного с этим выключателем контакта $Л_5$ (рис. 9 и 10), в результате чего получается разрыв цепи промежуточного реле $РПП_Э$, что обусловливает размыкание его контактов $РПП_1$ и $РПП_2$, которые при этом разрывают цепь включающего соленоида *СВ*, надобность в действии которого после включения выключателя $ВМ_1$ отпадает. Наряду с этим, при размыкании контакта $Л_5$ происходит разрыв цепи зеленой лампы *ЛЗ* [1]), которая при этом тухнет, и разрыв цепи желтой лампы *ЛЖ*; что касается этой последней лампы, то цепь ее при разомкнутом выключателе возбуждения *ВК* разорвана также контактом $М_2$, сблокированным с последним выключателем таким образом, что когда он разомкнут, то контакт $М_2$ тоже разомкнут, и наоборот [2]).

Далее, в результате замыкания главного масляного выключателя $ВМ_1$ получится замыкание сблокированного с ним контакта $Л_1$, следствием чего явится: 1) замыкание цепи красной лампы *ЛК* [3]), которая, загораясь, своим светом будет сигнализировать о состоявшемся включении указанного выключателя; 2) замыкание цепи белой лампы *ЛБ* [4]), указывающей своим светом на начало пуска двигателя *ДС*; 3) замыкание цепи электромагнита *2Р*, составляющего часть реле синхронной скорости; 4) замыкание цепи электромагнита контактора $КВЛ_Э$.

Здесь считаем необходимым указать на принцип устройства и действия реле синхронной скорости, состоящий в следующем (рис. 9 и 10). Главными составными частями рассматриваемого реле являются электромагниты: 1) указанный выше *2Р*, так называемый *оперативный* электромагнит, действующий при включенном реле на особую *рабочую* пружину, которая, сжимаясь, вследствие этого стремится, в свою очередь, привести в действие систему зубчатых передач [5]), 2) *удерживающий* электромагнит *2РУ*, оказывающий на механизм указанной системы зубчатых передач действие, противоположное производимому электромагнитом *2Р*.

---

[1]) Зеленая лампа *ЛЗ* горит при разомкнутых выключателях $ВМ_1$ и *ВК*; цепь тока, проходящего при этом через указанную лампу, представляется следующим образом (рис. 9 и 10): соединенная с положительной шиной *Д* точка *b* (левая на рис. 10) — точки *y* и *z* (рис. 9) — замкнутый контакт $Л_5$ — точка *p* — точка *s* — замкнутый контакт $К_1$ кнопочного выключателя — точка *t* — зеленая лампа *ЛЗ* — сблокированный с выключателем возбуждения *ВК* замкнутый контакт $М_1$ — соединенная с отрицательной шиной *Д* точка *h* (левая на рис. 10).

[2]) Желтая лампа *ЛЖ* загорается при размыкании главного масляного выключателя $ВМ_1$; цепь проходящего при этом через нее тока до точки *t* является общей с цепью для зеленой лампы; дальше путь тока идет через контакт $М_2$ и лампу *ЛЖ* до соединенной с отрицательной шиной *Д* точки *h'* (правой на рис. 10).

[3]) Цепь тока, проходящего через к асную лампу *ЛК*, представится при этом следующим образом (рис. 9 и 10): соединенная с положительной шиной *Д* т чка *b* (левая на рис. 10) — точки *y* и *z* (рис. 9) — замкнутый контакт $Л_1$ — точка *x* — красная лампа *ЛК* — точка *h'* (рис. 9) — отрицательная шина *Д*.

[4]) Цепь тока, проходящего через белую лампу *ЛБ*, до точки *x* является общей с цепью для красной лампы; дальше путь тока идет через замкнутый контакт $М_1$ (при разомкнутом выключателе возбуждения *ВК*), точку *w*, лампу *ЛБ* к отрицательной шине *Д*.

[5]) Система зубчатых передач вместе с рабочей пружиной образует часовой механизм.

Часть обмотки оперативного электромагнита $2P$ нормально замкнута накоротко (зашунтирована) контактом $2P_1$, благодаря чему достигается в начале включения реле форсировка (ускорение) действия указанного электромагнита на рабочую пружину; в результате сжатия последней пружины происходит размыкание контакта $2P_1$, вследствие чего получается включение обмотки электромагнита $2P$ полностью; эта операция, в связи с соответственным уменьшением проходящей по этой обмотке силы тока, обусловливает прекращение дальнейшей форсировки действия электромагнита $2P$ и наступление нормального (более замедленного) периода действия этого электромагнита на рабочую пружину в сторону сжатия последней.

До тех пор, пока двигатель $ДС$ не достигнет $\infty 95\%$ синхронной скорости, т. е. пока этот двигатель вращается при скольжении $> \infty 0{,}05$, напряжение, приходящееся на зажимы замкнутой на часть разрядного сопротивления C_3 [1]) обмотки удерживающего электромагнита $2РУ$, является достаточным для противодействия электромагниту $2P$; но коль скоро скольжение ротора двигателя $ДС$ достигнет значения $\infty 0{,}05$, напряжение, приложенное к обмотке электромагнита $2РУ$, уменьшится до значения, при котором действие этого электромагнита окажется недостаточным, чтобы противостоять действию оперативного электромагнита $2P$, следствием чего явится освобождение со стороны электромагнита $2РУ$ механизма упомянутой выше системы зубчатых передач; в результате этого указанный механизм окажется лишь под действием рабочей пружины, находящейся, в свою очередь, как упоминалось выше, под действием оперативного электромагнита $2P$, вследствие чего этот механизм придет в движение и по истечении определенного промежутка времени [2]) произведет замыкание контакта $2P_2$, что обусловливает [3]) включение цепи включающего электромагнита $МВ$ [4]) контакторного выключателя $ВК$ возбуждения двигателя $ДС$; следствием этого явится размыкание контакта $М_{III}$ указанного выключателя, обусловливающее разрыв цепи разрядного сопротивления C_3, и замыкание контактов $М_I$ и $М_{II}$ выключателя $ВК$, производящих включение обмотки возбуждения двигателя $ДС$ на питающие ее шины (напряжением 115 V).

Из сказанного относительно устройства реле синхронной скорости следует, что в результате замыкания цепи его оперативного электромагнита $2P$ контактом $Л_1$, сблокированным с главным масляным выключателем $ВМ_1$, это реле включается на работу и начинает действовать согласно вышеописанному.

Что касается замыкания цепи электромагнита контактора $КБЛ_Э$, получаемого в связи с замыканием указанного контакта $Л_1$, то следствием этой операции явится замыкание контакта $КБЛ_2$ упомянутого контактора; в результате этого подготовится к замыканию цепь включающего электромагнита $МВ$ выключателя возбуждения $ВК$, которая замкнется окончательно в момент замыкания контакта $2P_2$ реле синхронной скорости, в связи с достижением ротором двигателя $ДС \infty 95\%$ синхронной скорости [4]).

Замыканием выключателя возбуждения $ВК$ завершается операция пуска синхронного двигателя $ДС$.

Что касается автоматического *останова* компрессорных агрегатов, то он осуществляется в результате предельного повышения давления в соответственных воздухосборниках, следствием чего является замыкание контакта $РД_1$ реле давления (рис. 9 и 10); последняя операция обусловливает замыкание обмоток проме-

---

[1]) Через сопротивление C_3.

[2]) Зависящего от регулировки реле.

[3]) При замкнутом контакте $КБЛ_2$ (см. далее).

[4]) Путь тока в цепи электромагнита $МВ$ представляется следующим образом (рис. 9 и 10): положительная шина $Д$ — правый контакт рубильника $ЗР$ — контакт $КБЛ_2$ контактора $КБЛ_Э$ — контакт $2P_2$ реле синхронной скорости — контакт $М_5$ (замкнутый при разомкнутом выключателе $ВК$) — точка $б$ — обмотка электромагнита $МВ$ — левый контакт рубильника $ЗР$ — отрицательная шина $Д$.

жуточных реле $3РП_{1Э}$ и $3РП_{2Э}$, соответственные контакты которых $3РП_2$, $3РП_4$, $3РП_1$ и $3РП_3$ размыкаются, контакты же $3РП_5$ и $3РП_6$ (рис. 9) замыкаются [1]).

Контакт $3РП_5$ замыкает цепь отключающего соленоида $СО$ [2]) главного масляного выключателя $ВМ_1$, следствием чего является размыкание последнего, что обусловливает отключение двигателя $ДС$ от шин $Ω$.

Контакт $3РП_2$ разрывает цепь реле $2_1РП_Э$, результатом чего является размыкание его контакта $2_1РП_1$, который при этом производит обесточивание реле $РПП_Э$, обусловливающее размыкание контактов последнего $РПП_1$ и $РПП_2$, разрывающих цепь включающего соленоида $СВ$ выключателя $ВМ_1$; последняя операция является необходимой потому, что при размыкании выключателя $ВМ_1$ замыкается сблокированный с ним контакт $Л_5$, а потому, если бы при этом не произошло размыкания контакта $2_1РП_1$, то реле $РПП_Э$ оказалось бы возбужденным, в результате чего получилось бы замыкание контактами $РПП_1$ и $РПП_2$ цепи включающего соленоида $СВ$ выключателя $ВМ_1$, что в данном случае не должно иметь места.

Контакт $3РП_6$ реле $3РП_{2Э}$ замыкает цепь электромагнита $В_{1Э}$, что, как указывалось выше [3]), обусловливает включение двигателя водяного вентиля в направлении закрывания задвижки в трубопроводе охлаждающей воды [4]).

В результате указанного выше размыкания выключателя $ВМ_1$ произойдет размыкание сблокированного с ним контакта $Л_1$, который при этом произведет разрыв цепи электромагнита контактора $КБЛ_Э$, следствием чего явится размыкание контакта $КБЛ_2$ последнего контактора; эта операция обусловливает разрыв цепи включающего электромагнита $МВ$ выключателя возбуждения $ВК$; вместе с тем, благодаря замыканию сблокированного с выключателем $ВМ_1$ контакта $Л_7$, замыкается цепь отключающего электромагнита $МО$ выключателя $ВК$; вследствие указанных операций получится размыкание последнего выключателя и отключение обмотки возбуждения от питающей ее сети постоянного тока.

В связи с замыканием контакта $Л_5$, сблокированного с выключателем $ВМ_1$, и контакта $М_1$, сблокированного с выключателем возбуждения $ВК$, произойдет замыкание цепи зеленой лампы $Л_3$ и последняя загорится. Что касается желтой лампы, то цепь ее будет разорвана контактами $К_2$ и $М_2$; равным образом, цепи белой лампы $ЛБ$ и красной лампы $ЛК$ окажутся разорванными контактом $Л_1$, сблокированным с выключателем $ВМ_1$; вследствие этого последние три лампы потухнут.

Наряду с описанным выше полностью автоматизированным управлением, схемы на рис. 9 и 10 допускают также *кнопочное* (полуавтоматическое) управление компрессорными агрегатами.

Желая пустить в ход находящуюся в покое компрессорную установку, необходимо нажать кнопку $К_b$ кнопочного выключателя, в результате чего контакты $К_2$, $К_3$ и $К_4$ указанного выключателя замкнутся, контакт же $К_1$ разомкнется (рис. 9 и 10). Контакт $К_3$ при своем замыкании зашунтирует контакт $2_1РП_1$, разомкнутый при цепи реле $2_1РП_Э$, разорванной контактом $ВД_1$ водяного реле; что касается контакта $3РП_1$, то он оказывается замкнутым при невозбужденном реле $3РП_{2Э}$, цепь которого является разорванной контактом $РД_1$ реле давления.

---

[1]) См. сноску 5) на стр. 62.

[2]) Цепь тока, проходящего в рассматриваемом случае через обмотку $СО$, представляется следующим образом: соединенная с положительной шиной $Δ$ точка $η$ (правая на рис. 10) — обмотка $СО$ — замкнутый контакт $Л_3$ (при замкнутом выключателе $ВМ_1$) — точки u, f и $φ$ — контакт $3РП_5$ — отрицательная шина $Δ$.

[3]) См. стр. 62.

[4]) Что касается контактов $3РП_1$ и $3РП_3$ реле $3РП_{2Э}$, а также контакта $3РП_4$ реле $3РП_{1Э}$, то замыкание их в данном случае не вызывается необходимостью; оно используется в случае кнопочного управления, при разомкнутом контакте $РД_1$ реле давления (см. далее эту стр. и 69).

Таким образом, благодаря замыканию контакта K_3 окажется замкнутой цепь промежуточного реле $РПП_Э$ [1]), что, как указывалось выше [2]), обусловливает замыкание контактов $РПП_1$ и $РПП_2$ последнего реле, результатом чего явится включение обмотки *СВ* включающего соленоида главного масляного выключателя $ВМ_1$ и, как следствие этого, включение на шины Ω статора компрессорного двигателя *ДС*. Выполнением последней операции начинается период пуска указанного двигателя. Что касается выполнения дальнейших пусковых операций, то таковые осуществляются согласно способу, описанному выше при рассмотрении полностью автоматизированного пуска [3]).

Относительно контакта K_2, находящегося в цепи желтой лампы *ЛЖ*, следует отметить, что он замыкает указанную цепь при размыкании главного масляного выключателя $ВМ_1$, обусловливающем замыкание сблокированного с ним выключателя $Л_5$; контакт $ЗРП_3$ в указанной цепи является замкнутым при невозбужденном реле $ЗРП_{2Э}$, цепь которого оказывается разорванной контактом $РД_1$ реле давления; таким образом, желтая лампа *ЛЖ* в результате замыкания ее цепи загорится. Цепь зеленой лампы *ЛЗ*, при разомкнутых выключателях $ВМ_1$ и $ВК_1$, замыкается контактом $ЗРП_4$ невозбужденного реле $ЗРП_{1Э}$, который шунтирует контакт K_1 кнопочного выключателя, разомкнутый вследствие нажатия кнопки K_b последнего.

Если желательно *вручную* остановить компрессорную установку, то необходимо нажать кнопку K_0 кнопочного выключателя, в результате чего замкнется контакт K_5; окажется также замкнутым контакт K_1; контакты K_2, K_3 и K_4 будут разомкнуты.

Контакт K_5, шунтирующий разомкнутые контакты $ЗРП_5$ [4]) и *1ПУ* [5]), производит замыкание цепи отключающего соленоида *СО* главного масляного выключателя $ВМ_1$, следствием чего является размыкание последнего, что обусловливает отключение двигателя *ДС* от шин Ω.

Благодаря замыканию контакта K_1 [6]) замкнется цепь зеленой лампы *ЛЗ*, которая при этом загорится.

В результате размыкания выключателя $ВМ_1$ замкнется сблокированный с ним контакт $Л_7$, который замкнет при этом цепь отключающего электромагнита *МО* выключателя возбуждения *ВК*, благодаря чему получится размыкание последнего выключателя и отключение обмотки возбуждения от питающей ее сети постоянного тока.

Остановить *вручную* компрессорную установку можно также путем замыкания контакта *1ПУ* переключателя управления, вследствие чего замкнется цепь *СО* отключающего соленоида выключателя $ВМ_1$ со всеми вытекающими из этого последствиями, о которых упоминалось выше.

Теперь укажем на роль отдельных реле и приборов, контролирующих правильность работы компрессорной установки и осуществляющих защиту приводного двигателя от возможных аварий.

1) Назначение моторного реле времени (программного реле) $2РВ_Э$ [7]) состоит в защите синхронного двигателя от возможной затяжки его пуска; необходимость

---

[1]) Цепь тока через обмотку $РПП_Э$ в рассматриваемом случае представится следующим образом: соединенная с положительной шиной *Д* точка *b* (левая на рис. 10) — точки *y* и *z* (рис. 9) — сблокированный с выключателем $ВМ_1$ замкнутый контакт $Л_5$ — точка *p* — контакт $1Р_1$ разъединителя $РЗВ_1$ — обмотка $РПП_Э$ — точка *q* — контакт $ЗРП_1$ реле $ЗРП_{2Э}$ — контакт K_3 — контакт *2ПУ* переключателя управления — контакт *РФ* реле $РФ_Э$ — сблокированный с выключателем возбуждения *ВК* контакт $М_2$ — контакт $1РВ_2$ реле времени $1РВ_Э$ — соединенные с отрицательной шиной *Д*: точка *h* на рис. 9 и точка *x* на рис. 10.

[2]) См. стр. 63.

[3]) См. стр. 66 и 67.

[4]) Контакт $ЗРП_5$ реле $ЗРП_{1Э}$ оказывается разомкнутым в результате размыкания контакта $РД_1$ реле давления.

[5]) Контакт *1ПУ* ручного переключателя управления разомкнут при замкнутом его контакте *2ПУ*.

[6]) Контакт K_1 шунтирует в данном случае разомкнутый контакт $ЗРП_4$ реле $ЗРП_{1Э}$, которое оказывается невозбужденным при разомкнутом контакте $РД_1$ реле давления.

[7]) Реле типа *СВ-11*; $2РВ_Э$ — собственно обмотка электромагнита реле.

подобной защиты объясняется тем обстоятельством, что пусковая обмотка двигателя (клетка Леблана) рассчитана на работу при определенной продолжительности пускового периода; если же бы при каждом пуске продолжительность последнего была больше нормального (расчетного) пускового периода, то означенная обмотка могла бы оказаться перегретой до температуры выше допустимой. С целью избежания указанного явления и применяется рассматриваемое реле времени, которое в случае затяжки пуска синхронного двигателя обусловливает выключение главного масляного выключателя BM_1, отключающего при этом статор двигателя $ДС$ от питающей его сети.

Принцип действия реле времени $2PB_Э$ состоит в следующем. В результате замыкания выключателя BM_1 происходит замыкание сблокированного с ним контакта $Л_1$, следствием чего является включение на шины $Д$ через рубильник $2P$ обмотки электромагнита $2PB_Э$ рассматриваемого реле, что обусловливает размыкание контакта $2PB_2$ и замыкание контакта $2PB_1$ этого реле; эти контакты удерживаются в указанных положениях при помощи запорного механизма, связанного с системой зубчатых передач. Размыкание первого контакта, а именно, контакта $2PB_2$, обусловливает разрыв цепи в этом месте отключающего соленоида $СО$ выключателя BM_1; замыкание контакта $2PB_1$ производит включение моторчика (сервомотора) $2PB$, который при этом начинает вращаться и при своем вращении приводит в действие указанную систему зубчатых передач [1]; по истечении определенного срока, обусловленного регулировкой реле на определенную выдержку времени [2], система зубчатых передач при своем вращении освобождает запорный механизм, после чего упомянутые контакты реле приходят в исходное положение, а именно, контакт $2PB_1$ размыкается, выключая при этом моторчик $2PB$, контакт же $2PB_2$ замыкается, подготовляя тем самым к замыканию в этом месте цепь отключающего соленоида $СО$ выключателя BM_1. Если к указанному времени срабатывания реле синхронному двигателю $ДС$ будет сообщено возбуждение, что характеризует завершение периода пуска, то обмотка электромагнита реле обрыва поля $РОП_Э$, находясь при этом под напряжением, будет держать в разомкнутом положении контакт $РОП$ последнего реле, в результате чего цепь обмотки отключающего соленоида $СО$ выключателя BM_1 окажется разомкнутой, несмотря на замкнутое положение контакта $2PB_2$ моторного реле времени; благодаря указанному разрыву цепи соленоида $СО$ статор двигателя $ДС$ будет оставаться включенным на питающие его шины $Ω$. Если же по истечении установленного времени, обусловленного регулировкой моторного реле $2PB_Э$, двигателю $ДС$ почему-либо не будет сообщено возбуждение, то контакт $РОП$ невозбужденного реле обрыва поля $РОП_Э$ окажется в замкнутом положении, в результате чего, при наличии замкнутого контакта $2PB_2$ реле $2PB_Э$, получится замыкание цепи отключающего соленоида $СО$ выключателя BM_1; последняя операция обусловливает, как известно, размыкание указанного выключателя, следствием чего явится отключение статора двигателя $ДС$ от питающей его сети. Таким образом, благодаря наличию реле времени $2PB_Э$, будет предотвращен затяжной пуск синхронного двигателя.

Путь тока в цепи соленоида $СО$ в рассматриваемом случае представится следующим образом: соединенная через правый контакт рубильника $2P$ с положительной шиной $Д$ точка $η$ (правая на рис. 10) — обмотка $СО$ — сблокированный с выключателем BM_1 контакт $Л_3$ [3] — точка $и$ — обмотка сериесного блинкерного реле $Б_1$ — замкнутый контакт $2PB_2$ моторного реле времени — контакт $РОП$ реле обрыва поля — левый контакт рубильника $2P$ — отрицательная шина $Д$. В результате получаемого при этом замыкания цепи обмотки блинкера $Б_1$ выпадет указатель последнего, сигнализируя тем самым об отключении двигателя $ДС$.

---

[1]) Моторчик $2PB$ в данном случае играет роль пружины, составляющей в совокупности с системой зубчатых передач сущность часового механизма.

[2]) Регулировка реле осуществляется путем соответственной перестановки зубчатых колес.

[3]) Замкнутый при замкнутом выключателе BM_1.

Здесь следует отметить, что в случае применения кнопочного пуска в ход компрессорной установки, путем нажатия кнопки K_b, окажутся замкнутыми контакты K_3 и K_4 кнопочного выключателя; кроме того, при разомкнутом контакте $РД_1$ реле давления окажется разорванной цепь реле $ЗРП_{1Э}$, следствием чего явится замыкание контакта $ЗРП_2$ последнего реле; ввиду этого, при размыкании выключателя $ВМ_1$, обусловливающем замыкание сблокированного с ним контакта $Л_4$, получается замыкание цепи звукового сигнала — гудка (ревуна) $Р$ [1]), который вследствие этого будет издавать звук, сигнализирующий о выключении статора двигателя $ДС$ [2]).

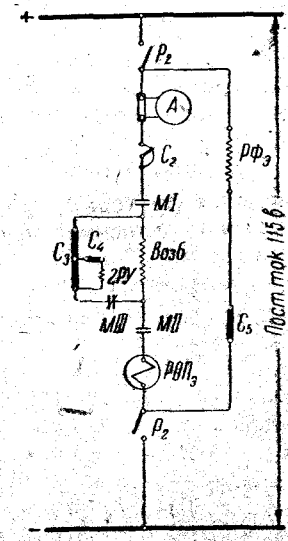


Рис. 11. Схема включения цепи возбуждения синхронного двигателя.

2) Реле $РФ_Э$ [3]) (рис. 9 и 11) контролирует наличие напряжения в цепи, питающей возбуждение двигателя $ДС$; в случае отсутствия указанного напряжения обмотка реле $РФ_Э$ окажется обесточенной, следствием чего явится размыкание контакта $РФ$ этого реле (рис. 9 и 10); эта операция обусловливает разрыв цепи реле $РПП_Э$; в результате этого окажутся разомкнутыми контакты $РПП_1$ и $РПП_2$ последнего реле, благодаря чему получится разрыв цепи включающего соленоида $СВ$ выключателя $ВМ_1$.

3) В случае исчезновения напряжения на шинах $Ω$ окажется под напряжением обмотка промежуточного реле $1РП_Э$ в результате замыкания контактов $РН_1$ и $РН_2$ соответственных минимальных (нулевых) реле $РН_{1Э}$ и $РН_{2Э}$, которые окажутся обесточенными в связи с исчезновением напряжения у питающих указанные реле трансформаторов $НОС$; при наличии возбуждения у реле $1РП_Э$ контакт $1РП_1$ последнего окажется замкнутым, благодаря чему получится шунтирование (перекрытие) указанным контактом обмотки $1РВ_Э$ реле времени, что является равносильным обесточиванию последнего реле; следствием этого явится замыкание контакта $1РВ_Э$ этого реле, а затем — замыкание цепи отключающего соленоида $СО$ выключателя $ВМ_1$, что обусловливает размыкание последнего выключателя и отключение статора двигателя $ДС$ от шин $Ω$.

Путь тока в цепи отключающего соленоида $СО$ от положительной шины $Δ$ (через точку $η$) до точки u рассмотрен выше, при описании действия моторного реле времени; далее, от точки u этот путь пойдет следующим образом: точка f — обмотка блинкера $Б_2$ — контакт $1РВ_3$ реле времени $1РВ_Э$ — точка $τ$ (правая на рис. 10) — отрицательная шина $Δ$. В результате замыкания цепи обмотки блинкера $Б_2$, выпадает его указатель, сигнализируя тем самым об отключении выключателя $ВМ_1$. Вместе с тем, в связи с размыканием последнего выключателя произой-

---

[1]) Цепь тока, проходящего через гудок $Р$, представляется следующим образом (рис. 9 и 10): положительная шина $Δ$ — правый контакт рубильника $ЗР$ — точка e — гудок $Р$ — шина звукового сигнала — замкнутые контакты K_4 и K_3 кнопочного выключателя — точка a — контакт $Л_4$ — контакт $ЗРП_2$ реле $ЗРП_{1Э}$ — точка h (правая на рис. 10) — левый контакт рубильника $ЗР$ — отрицательная шина $Δ$.

[2]) При полностью автоматизированном управлении двигателем $ДС$, осуществляемом в результате действия реле давления, звуковой сигнал не будет действовать, так как цепь гудка $Р$ при этом окажется разорванной контактами K_3 и K_4 кнопочного выключателя (при ненажатой кнопке K_b). Между тем, получение звукового сигнала, извещающего в определенном месте, где находится кто-либо из людей, об аварийном выключении компрессорного двигателя может представиться еще более необходимым при автоматическом управлении, чем при кнопочном, на основании тех соображений, что в первом случае в компрессорном помещении вообще никого из обслуживающего персонала может не быть, ввиду чего указанное выключение двигателя может оказаться в продолжение некоторого времени незамеченным. Соответственным изменением схем на рис. 9 и 10 может быть достигнуто получение звукового сигнала также в случае аварийной остановки компрессорного двигателя при полностью автоматизированном управлении.

[3]) $РФ_Э$ — собственно обмотка электромагнита реле.

дет замыкание сблокированного с ним контакта $Л_5$, следствием чего явится замыкание цепи желтой лампы *ЛЖ*, которая при этом загорится.

4) При возникновении токов короткого замыкания подействуют максимальные реле $РМ_{1Э}$ и $РМ_{2Э}$, питаемые от трансформаторов тока *ТПФ*, первичные обмотки которых включены в статорную цепь двигателя *ДС* (рис. 9); в результате срабатывания означенных реле замкнутся их контакты $РМ_1$ и $РМ_2$ (рис. 9 и 10), замыкая тем самым цепь реле времени $ЗРВ_Э$ [1]); эта операция обусловливает замыкание контакта *ЗРВ* реле $ЗРВ_Э$, который при этом замкнет через обмотку блинкера $Б_3$ цепь отключающего соленоида *СО* выключателя $ВМ_1$, следствием чего явится размыкание последнего и отключение двигателя *ДС*.

5) При перегрузке двигателя *ДС*, вызывающей повышение его температуры выше допустимого предела, сработает тепловое (термическое) реле *РТ* [2]), питаемое от трансформаторов тока *ТПФ* и включенное последовательно с упомянутыми выше максимальными реле $РМ_{1Э}$ и $РМ_{2Э}$; в результате указанной операции произойдет замыкание контактов $РТ_1$ теплового реле, которые при этом замкнут через обмотку блинкера $Б_4$ цепь отключающего соленоида *СО* выключателя $ВМ_1$ со всеми вытекающими отсюда указанными выше последствиями.

6) При прекращении циркуляции охлаждающей воды замкнется контакт $ВД_2$ водяного реле, следствием чего явится замыкание цепи отключающего соленоида *СО* выключателя $ВМ_1$ через обмотку блинкера $Б_5$, указатель которого при этом выпадет.

7) В случае прекращения действия смазки замкнутся контакты *ММ масляного манометра*, замыкая при этом цепь соленоида *СО* через обмотку блинкера $Б_6$.

8) Реле $РС_Э$ контролирует наличие напряжения в цепи отключения. При разомкнутом главном масляном выключателе $ВМ_1$ цепь указанного реле замыкается сблокированным с этим выключателем контактом $Л_8$ [3]). При замкнутом выключателе $ВМ_1$ цепь реле $РС_Э$ оказывается включенной последовательно с обмоткой отключающего соленоида *СО* последнего выключателя [4]), контролируя при этом также целость цепи этого соленоида. В случае отсутствия напряжения в цепи отключения, реле $РС_Э$ обесточивается, в результате чего замыкается его контакт *1РС*, замыкая при этом цепь гудка *Р* и блинкера $Б_7$ [5]); гудок начинает издавать звук, а указатель блинкера выпадает, сигнализируя об исчезновении напряжения в цепи отключения.

9) Контроль температуры охлаждающей воды осуществляется посредством контактных термометров, которые при определенном повышении температуры воды замыкают цепь гудка (ревуна) и особого блинкера, указатель которого при этом выпадает. Указанные термометры питаются от потенциометра, приключенного к сети постоянного тока напряжением 115 *V* (см. рис. 4 и 7, а также стр. 51) [6]). Каждый компрессор обслуживается группой, состоящей из 8 контактных термометров.

Что касается случаев разрыва цепи возбуждения (обрыва поля) двигателя *ДС*, то получаемое при этом замыкание цепи соленоида *СО* выключателя $ВМ_1$, обу-

---

[1]) Реле $ЗРВ_Э$ применяется с целью получения определенной выдержки времени в действии максимальных реле $РМ_{1Э}$ и $РМ_{2Э}$.

[2]) *АТ-1* и *АТ-2* автотрансформаторы, служащие для приключения теплового реле *РТ*.

[3]) Цепь тока через обмотку реле $РС_Э$ следующая: соединенная с положительной шиной *Л* точка λ — сопротивление $С_8$ — контакт $Л_8$ — обмотка реле $РС_Э$ — точка τ (средняя на рис. 10) — отрицательная шина *Л*.

[4]) Цепь тока через обмотку реле $РС_Э$ представится следующим образом: соединенная с положительной шиной *Л* точка η (правая на рис. 10) — обмотка отключающего соленоида *СО* выключателя $ВМ_1$ — замкнутый контакт $Л_3$ — точка $\varkappa$ — обмотка реле $РС_Э$ — точка τ (средняя на рис. 10) — отрицательная шина *Л*.

[5]) Цепь тока через гудок *Р* и блинкер $Б_7$ идет при этом следующим образом: положительная шина *Л* — правый контакт рубильника *3Р* — точка ε цепи управления — гудок *Р* — шина звукового сигнала — обмотка блинкера $Б_7$ — крайний правый контакт рубильника *2Р* — контакт *1РС* реле $РС_Э$ — левый контакт рубильника *3Р* — отрицательная шина *Л*.

[6]) К контактным термометрам подводится получаемое от потенциометра напряжение 24 V.

словливающее размыкание последнего и выключение двигателя, происходит в результате срабатывания реле обрыва поля $РОП_Э$, аналогично рассмотренному выше действию этого реле при предохранении от затяжного пуска двигателя [1]).

Здесь следует отметить, что после каждого выключения главного масляного выключателя $ВМ_1$ цепь возбуждения двигателя $ДС$ должна быть подготовлена к последующему пуску последнего; с этой целью необходимо получить отключение указанной цепи от питающего ее источника постоянного тока; последняя операция осуществляется путем получаемого при этом замыкания цепи обмотки отключающего электромагнита $МО$ контакторного выключателя $ВК$ цепи возбуждения, причем путь тока в цепи обмотки $МО$ представляется следующим образом (рис. 9 и 10): положительная шина $Д$ — правый контакт рубильника $ЗР$ — замкнутый контакт $Л_7$ (при разомкнутом выключателе $ВМ_1$) — обмотка $МО$ — замкнутый контакт $М_7$ (при замкнутом выключателе $ВК$) — левый контакт рубильника $ЗР$ — положительная шина $Д$. Следствием замыкания цепи обмотки $МО$ явится размыкание контакторов $М_I$ и $М_{II}$ выключателя $ВК$, что обусловливает отключение возбуждения двигателя $ДС$ от питающего его источника постоянного тока.

Что касается контакта $М_6$, сблокированного с выключателем $ВК$, то при размыкании последнего выключателя этот контакт тоже размыкается, разрывая в этом месте цепь включающего электромагнита $МВ$ выключателя $ВК$ с тою целью, чтобы эта цепь не смогла оказаться замкнутой контактом $Л_7$ при разомкнутом выключателе $ВМ_1$ и тем самым не произвела включения выключателя $ВК$ [2]).

Из остальных обозначений на схеме рис. 9 укажем следующие. $ПС_2$ — сигнальный прибор, указывающий положение разъединителей $РЗВ_{1Ш}$ шин $Ш$ высокого напряжения; $ПС_1$ — сигнальный прибор, указывающий положение разъединителей $РЗВ_1$ в цепи, питающей статор двигателя $ДС$; $СДВ$ — рубящее сопротивление (разъединители с встроенным сопротивлением); $ПТВ$ — высоковольтные трубчатые предохранители; $А$ — амперметр, W — ваттметр и Wh — счетчик, сериесные обмотки которых питаются от трансформаторов тока $ТПФ$ [3]); $Ф$ — фазометр.

В заключение рассмотрения вопроса автоматизации компрессорных установок с приводом от синхронного двигателя нельзя не отметить значительной сложности применяемых при этом оборудования и аппаратуры; в этом отношении более простыми являются установки с асинхронными приводными двигателями; применение последних двигателей, однако, не дает возможности улучшения $\cos\varphi$ установки и сети, каковое обстоятельство при мощных компрессорных установках обусловливает необходимость применения синхронных двигателей.

Резюме

Пуск синхронного двигателя может быть осуществлен как при полном, так и при пониженном напряжении. На рис. 1 изображена принципиальная схема включения синхронного двигателя, пуск которого производится при полном напряжении; принципиальные схемы включения синхронного двигателя с пуском при пониженном напряжении представлены на рис. 2 и 3 соответственно для случаев пуска при помощи реактора и автотрансформатора.

В настоящей статье рассмотрены операции автоматического управления компрессорными установками с приводом от синхронного двигателя, пуск которого производится при полном напряжении; предусмотрена также автоматическая защита этих установок от возможных аварий. Способ пуска синхронных двигателей при

[1]) См. стр. 70.

[2]) Следует указать, что аппаратура, обслуживающая автоматический пуск и защиту синхронных двигателей, изготовляется в виде комплектных панелей Харьковским электромеханическим и турбогенераторным заводом (ХЭТЗ).

[3]) На схеме рис. 9 применены два трансформатора тока $ТПФ$. В случае наличия *земляной* защиты, применяемой при емкостных токах, превышающих 20—40 А, и при значительной мощности двигателей (1000 kVA и выше) необходимо применение трех трансформаторов тока. В рудничных сетях емкостные токи указанной силы далеко не всегда имеют место.

полном напряжении, являясь наиболее простым как по своим операциям, так и по оборудованию пусковой аппаратурой, может получить в ближайшее время значительное распространение на рудниках СССР, станции и подстанции которых при определенной их мощности смогут допустить непосредственное приключение мощных компрессорных установок, обслуживаемых синхронными двигателями.

На рис. 4 представлена схема коммутации трех мотор-генераторных агрегатов, обслуживающих возбуждение синхронных компрессорных двигателей, равно как соответственные цепи управления и сигнализации. В рассматриваемом случае генераторы $Г_1$, $Г_2$ и $Г_3$, подающие на шины $У$ постоянный ток напряжением 115 V, приводятся в действие низковольтными асинхронными двигателями $М_1$, $М_2$ и $М_3$, питаемыми от сети переменного тока напряжением 220—500 V. Каждый возбудительный агрегат обслуживает три синхронных двигателя. Два из этих агрегатов, а именно $М_1$—$Г_1$ и $М_2$—$Г_2$, являются рабочими, третий же, $М_3$—$Г_3$, резервный. Управление возбудительными агрегатами автоматизировано; включение и выключение их производится в зависимости от соответственного изменения величины давления сжатого воздуха в соответственных воздухосборниках. Наряду с полным автоматическим управлением схема на рис. 4 допускает также кнопочное (полуавтоматическое) управление возбудительными агрегатами.

На рис. 5 изображена принципиальная схема промежуточного реле, действие которого обусловлено соответственным изменением давления в определенном воздухосборнике.

На рис. 6 представлена развернутая схема автоматического управления и защиты для варианта высоковольтных двигателей, приводящих в действие возбудительные генераторы, питающие шины $У$ напряжением 115 V.

На рис. 7 изображена автоматизированная схема коммутации возбудительных генераторов для указанного варианта высоковольтных двигателей, приводящих в действие эти генераторы. Схема рис. 7 идентична со схемой рис. 6 в той ее части, которая относится к возбудительным генераторам. На рис. 7 возбудительные агрегаты $М_1 — Г_1$ и $М_3 — Г_3$ являются рабочими, агрегат же $М_2 — Г_2$ — резервный.

На рис. 8 дана схема коммутации фидера, питающего высоковольтный двигатель возбудительного агрегата. Следует отметить, что схемы рис. 6, 7 и 8, наряду с полным автоматическим управлением, дают также возможность кнопочного (полуавтоматического) управления.

На рис. 9 представлена автоматизированная схема коммутации компрессорной установки с приводом от синхронного двигателя; на рис. 10 дана развернутая схема управления и защиты автоматизированной установки, схема коммутации которой изображена на рис. 9; обозначения на обеих схемах общие. Автоматическое управление рассматриваемой компрессорной установки, т. е. ее пуск и остановка, осуществляются в зависимости от соответственного изменения давления сжатого воздуха в воздухосборнике, обслуживающем данный компрессор, в результате чего срабатывает (приходит в действие) соответственное реле давления, обслуживающее приведение в действие водяного реле, которое при этом производит посредством особого вспомогательного двигателя (сервомотора) открывание задвижки в трубопроводе охлаждающей воды. Следует отметить, что пуск синхронного двигателя производится при холостом ходе компрессора, каковой режим осуществляется посредством соединения компрессора с атмосферой. Автоматический пуск синхронного двигателя, осуществляемый в результате действия соответственного реле давления и водяного реле, начинается с включения статора двигателя на питающую его высоковольтную сеть; при этом двигатель, ротор которого снабжен короткозамкнутой обмоткой (клетка Леблана), начинает разгоняться по принципу асинхронного двигателя; по достижении двигателем $\sim 95\%$ синхронной скорости включается возбуждение, питаемое от шин постоянного тока напряжением 115 V; последней операцией заканчивается собственно пуск асинхронного двигателя. После этого компрессор должен быть разобщен от атмосферы и сообщен со своим воздухосборником, куда он и должен подавать сжатый воздух.

Операции разобщения компрессора от атмосферы и сообщения его с воздухосборником при начале его работы под нормальной нагрузкой, а также разобщение его от воздухосборника и сообщение с атмосферой при окончании рабочего режима компрессора, осуществляются автоматически посредством особых вспомогательных двигателей (сервомоторов), приводящих в определенное положение соответственные задвижки в трубопроводах, соединяющих компрессор как с атмосферой, так и с воздухосборником.

Наряду с полностью автоматизированным управлением компрессорной установкой схемы рис. 9 и 10 допускают также кнопочное (полуавтоматическое) управление.

Защита компрессорной установки от возможных аварий выполняется посредством системы специальных реле; при этом имеет место как световая, так и звуковая сигнализация.

На рис. 11 представлена схема включения цепи возбуждения синхронного двигателя с общими обозначениями на рис. 9.

Summary

Starting a synchronous motor may be performed both with full voltage and lowered voltage. Fig. 1 shows a principial scheme of connecting a synchronous motor whose starting is performed under full voltage; principial schemes of connecting synchronous motors whose starting is performed under lowered voltage are represented in Fig. 2 and 3, respectively for cases of starting by means of a reactor and autotransformer.

The present paper examines automatic control operations in compressor plants driven by synchronous motors whose starting is performed under full voltage; automatic protection of these plants from treatening troubles is also considered. A method of starting synchronous motors under full voltage being the simplest both in its operations and with regard to its starting equipment is likely to be extensively adopted in next future in the mines of USSR where stations and substations under certain conditions of their capacity will admit of directly connecting powerful compressor plants, served by synchronous motors.

Fig. 4 represents a wiring diagram of three motor-generator aggregates serving the excitation of synchronous motors, as well as to corresponding circuits for control and signalisation.

In the case considered generators Γ_1, Γ_2 and Γ_3 sending to the line-bars Ψ a direct current of 115 volts are driven by induction motors $_1M$, M_2 and M_3 of low voltage fed from an alternating current network of from 220 to 500 volts.

Every exciting aggregate serves three synchronous motors. Two of these aggregates, namely M_1—Γ_1 and M_2—Γ_2 are working ones, while the third M_3—Γ_3, is a spare one.

The control of the exciting aggregates is automatised; their connecting and cutting off take place according to the change of the value of pressure in the corresponding air-collectors. Besides automatic control the exciting aggregates may also be controlled by hand, as shown by the scheme in Fig. 4.

In Fig. 5 is represented a principial scheme of the intermediale relay the action of which depends upon the corresponding change of pressure in a definite air-collector.

Fig. 6 represents a detailed scheme of automatic control and protection for a type of high-voltage motors, which put in action exciting generators feeding line-bars Ψ of 115 Volts.

In Fig. 7 is shown an automatised wiring diagram of exciting generators for the aforesaid variety of high-voltage motors which operate these generators.

The scheme of Fig. 7 is identical with that of fig. 6 in that part of it, which relates to exciting generators.

In Fig. 7 the exciting aggregates M_1—Γ_1 and M_3—Γ_3 are working ones, whereas M_2— Γ_2 is a spare one.

In Fig. 8 is given a wiring diagram of a feeder feeding a high-voltage motor of the exciting aggregate.

It is to be noted that the schemes in Fig. 6, 7 and 8 besides full automatic control afford the possibility of press-button (semi-automatic) control.

In Fig. 9 is represented an automatised wiring diagram for a compressor plant, driven by a synchronous motor; Fig. 10 gives a detailed scheme of control and protection for an automatised plant whose wiring diagram is shown in fig. 9; symbols are the same in the two schemes.

Automatic control of the compressor plant considered, that is, its starting and stopping are effectuated according to the change of pressure of the compressed air in the air collector which serves the compressor in question; in consequence whereof the corresponding pressure relay begins to act and puts in action the water relay, which in turn by means of a special auxiliary motor (servomotor) opens the valves of the pipe of cooling water. It must be pointed out that the starting of the synchronous motor is performed when the compressor is running idle, which regime is realised by connecting the compressor with the atmosphere.

The automatic starting of the synchronous motor, brought about as a result of the action of the corresponding pressure relay and water relay, begins at the connection of the stator of the motor with the high-voltage network which feeds it; at the same time the motor whose rotor is provided with a short-circuited winding (Leblanc's cage) begins to gain speed on the principle of an induction motor; when the motor reaches about 95 per cent of synchronous velocity there is connected its excitation fed from the line-bars of the direct-current of 115 volts; this last operation terminates the starting proper of the induction motor. Thereupon the compressor has to be disconnected from the atmosphere and connected with its air-collector, whereto it must send compressed air. The operations of disconnecting the compressor from the atmosphere and connecting it with the air-collector at the beginning of its work under the normal load, and also its disconnection from the air-collector and its connection with the atmosphere at the end of the working regime of the compressor are brought about automatically by means of special auxiliary motors (servomotors) which bring the corresponding valves into a definite corresponding position in the pipes connecting the compressor both with the atmosphere and with the air-collector.

Besides fully automatised control of the compressor plant the schemes shown in fig. 9 and 10 admit also of press-botton (semi-automatic) control.

Protection of compressor plants from treating troubles is accomplished by a system of special relays, both light and sound signalisation being made use of.

Fig. 11 represents a scheme of connecting the excitation circuit of the synchronous motor, with the same symbols as in Fig. 9.

Литература

1. Проф. В. К. Попов, Применение электродвигателей в промышленности, ч. II, вып. 1, 1935.
2. „Электрификация и электромонтер", 1935, № 8. Статья Г. Н. Леви „Выбор способа запуска синхронных моторов".
3. „Вестник электропромышленности". 1936, № 4. Статья А. И. Товстопалова и К. С. Мезенцева „Схема автоматического асинхронного запуска синхронных двигателей".
4. „Бюллетень Электропрома". 1936, № 11. Статья Л. И. Шуфмана „Упрощенная схема автоматического запуска быстроходного синхронного мотора".
5. Каталог „Техническая информация ХЭМЗ'а". Машины синхронные трехфазные, 1936.
6. Материалы Лепгипроруды, предоставленные Ленинградскому горному институту.

Октябрь 1937 г.