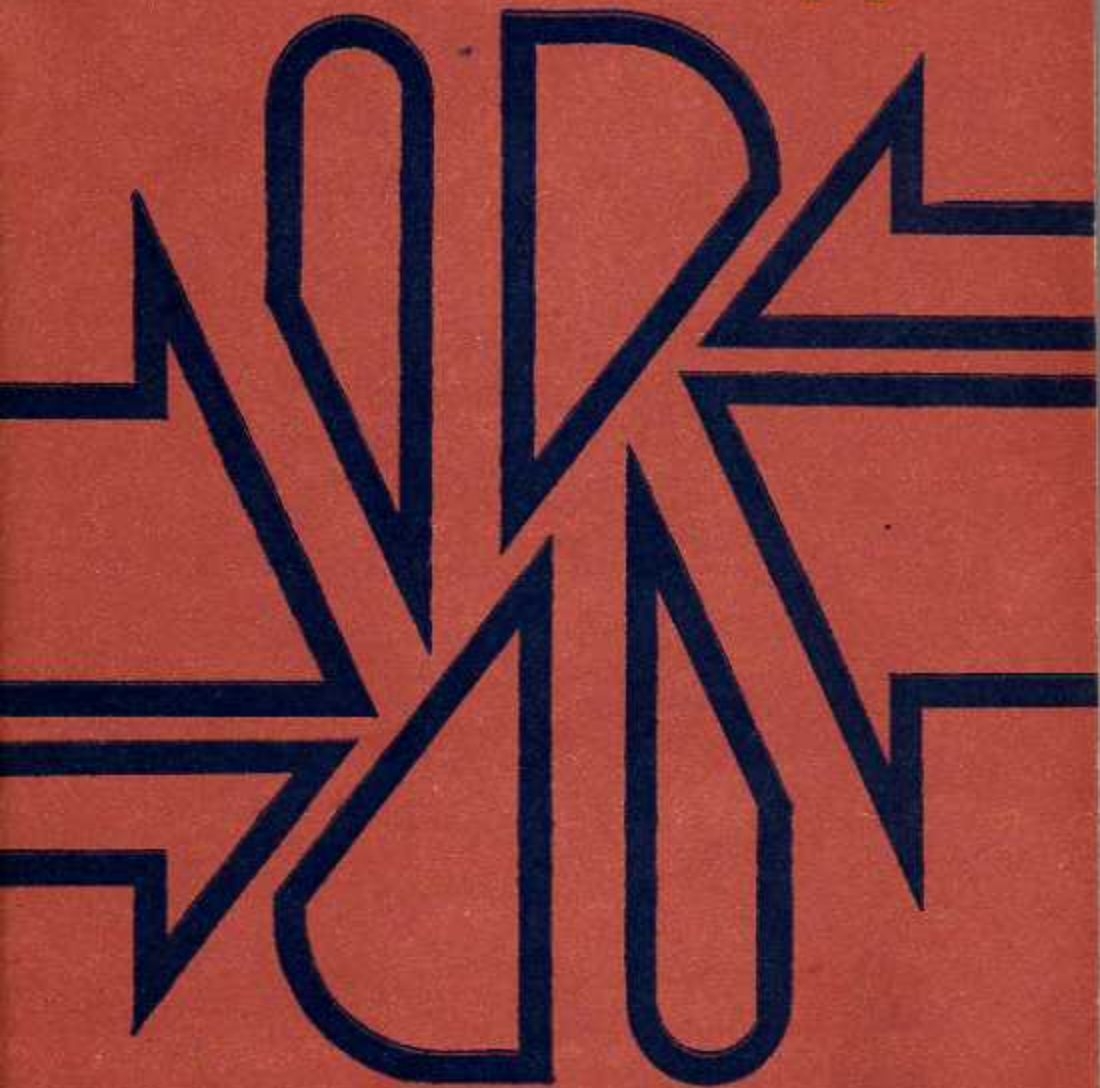


О. Г. ЗАХАРОВ

# НАСТРОЙКА СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ



О. Г. Захаров

НАСТРОЙКА  
СУДОВЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ



Издательство  
"Судостроение"  
Ленинград  
1978



В брошюре рассматривается технологический процесс настройки и сдаточных испытаний судового электропривода. Дается характеристика основных схем систем управления и используемых в них элементов и аппаратов как объектов настроечно-сдаточных работ (НСР). Описываются технологические приемы, методика поиска и виды основных неисправностей в судовых электроприводах.

Материал брошюры рассчитан на судовых электромонтажников и может быть полезен работникам электромонтажных предприятий и специалистов, эксплуатирующих судовую электропровод.

Рецензент В. Я. Призент

3 31805 - 049  
048(01) - 78 БЗ - 17-09-78

Ежегодно на вновь строящихся и ремонтирующихся судах вводится в действие сотни тысяч различных электроприводов механизмов и устройств. С ростом энерговооруженности судов число их еще более увеличится. Уже сейчас при средней мощности судовой электростанции 800 кВт настройка и сдаточные испытания судовых электроприводов составляют более половины всех настроечно-сдаточных работ (НСР) по электрооборудованию.

Для введения электропривода в действие настройщику приходится выполнять целый ряд специальных подготовительных операций, регулировать аппараты и устройства, обнаруживать и устранять неисправности и т.д. Как показывает опыт эксплуатации, надежность работы судовых электроприводов в этот период во многом определяется качеством выполнения НСР.

Увеличение степени автоматизации судовых электроприводов и применение централизованного управления ими существенно облегчают работу оператора, обслуживающего их при эксплуатации, но одновременно значительно усложняют работу настройщика, обеспечивающего ввод автоматизированного электропривода в действие.

Однако разнообразие применяемых схемных и аппаратных решений судовых электроприводов мало влияет на технологическое содержание НСР. Анализ опытных данных по настройке судовых электроприводов показывает, что возможна разработка единого технологического процесса настройки, рассматриваемого как совокупность технологических операций и приемов, содержание которых зависит от технологических задач и не зависит от схемного и аппаратного решения.

В данной брошюре рассматривается настройка судовых электроприводов, состоящих из механизма (вентилятора, насоса,



лебки и т. д.), приводящего его в действие электродвигателя, аппарата и элементов, составляющих систему управления электроприводом.

В первых трех параграфах брошюры рассматриваются как объекты настройки перечисленные выше части судового электропривода, за исключением механизма. В § 4 описывается технологический процесс настройки судового электропривода, который может быть использован при разработке программы настройки конкретного электропривода.

Одной из сложных операций настройки — поиску дефекта — посвящен § 5.

Результаты деятельности настройщика, его умение правильно составить программу действия и качество выполненных им работ проверяются в период слаточных испытаний. Им отведен заключительный параграф.

Описываемые в брошюре операции настройки и технологические приемы иллюстрируются практическими примерами.

Для читателей, интересующихся общими вопросами технологии настроечно-слаточных работ, можно рекомендовать учебное пособие [6], где они изложены достаточно подробно. Это издание служило теоретической основой при написании данной брошюры.

Все замечания и пожелания по содержанию книги следует направлять по адресу: 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8, издательство "Судостроение".

## § 1. СУДОВЫЕ АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Назначение электродвигателя заключается в преобразовании электрической энергии, потребляемой им из сети, в механическую. На судах наибольшее распространение получили асинхронные короткозамкнутые одно- и многоскоростные электродвигатели.

Как объект настройки асинхронный электродвигатель является механизмом с нерегулируемыми параметрами и характеристиками, которые, однако, определяют параметры и характеристики системы управления им.

Основные сведения о параметрах и характеристиках данного электродвигателя в условиях выполнения НСР можно получить из таблички, укрепленной на его корпусе.

Действующими стандартами [2] установлено, что в табличке должны быть указаны:

- род (двигатель, генератор, преобразователь и т. д.) и тип машины;
- заводской номер машины;
- товарный знак;
- род тока;
- частота и число фаз;
- соединение фаз;
- способ возбуждения;
- номинальный режим работы<sup>1</sup>;
- номинальная мощность;
- номинальное напряжение;
- номинальный ток;

<sup>1</sup> Номинальный режим работы наносится в виде условного обозначения.







В двухскоростных электродвигателях изменение числа пар полюсов достигается переключением обмоток статора, состоящих из нескольких частей. При переключении отдельных обмоток каждой фазы с последовательного соединения на параллельное число пар полюсов уменьшается и частота вращения электродвигателя возрастает.

Известны два способа изменения частоты вращения в двухскоростных электродвигателях:

1. Переключение с простой звезды на двойную (рис. 2, а, б). При переключении напряжения на каждой половине фазы увеличивается вдвое, вращающий момент, развиваемый электродвигателем, остается постоянным, частота вращения изменяется согласно изменению числа пар полюсов, а потребляемая электродвигателем мощность увеличивается также вдвое.

2. Переключение обмоток с треугольника на двойную звезду (рис. 2, в, г). В этом случае после переключения обмоток ток, потребляемый каждой фазой из сети, возрастает вдвое, а напряжение, прикладываемое к каждой половине обмотки, возрастает в  $\sqrt{3}$  раз. Таким образом, вращающие моменты изменяются обратно пропорционально изменению частоты вращения, а мощности приблизительно одинаковы.

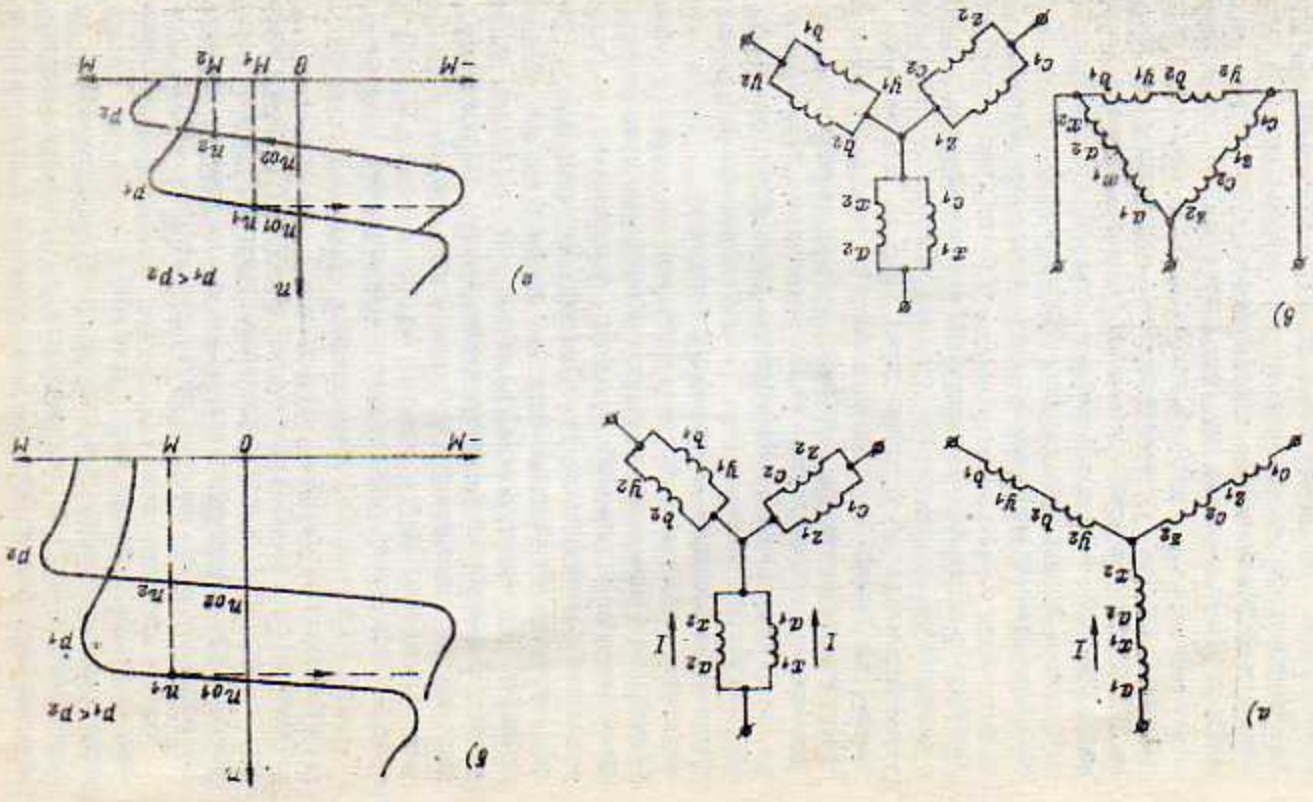
Необходимо помнить, что в многоскоростных электродвигателях коммутация тока различна для различных частот вращения, и поэтому для каждой частоты вращения должны быть свои аппараты защиты.

При переключении числа пар полюсов регулирование частоты вращения производится ступенчатым. Такое регулирование используется в шифре-автоматических лебедках и других механизмах, в которых плавность регулирования не является обязательной. Все работы по регулированию электродвигателей производится на станинском, когда их параметры (ток, момент, частота вращения и т.п.) остаются неизменными или изменяются очень медленно, и поэтому, характеризующиеся быстрым изменением параметров.

Основными переходными процессами для всех электродвигателей являются пуск и остановка, для многоскоростных — переход с одной частоты вращения на другую.

На рис. 2, б, г штриховыми линиями показано изменение частоты вращения при переключении числа пар полюсов. Пусть электродвигатель работает с частотой вращения  $n_1$  и моментом  $M$ . После переключения числа пар полюсов, летаясь от

Рис. 2. Схема переключения обмоток и механические характеристики асинхронного электродвигателя при постоянном моменте ( $M, D$ ) и постоянной мощности ( $D, M$ ).





сети, он переходит с механической характеристики, соответствующей наибольшей частоте вращения, на механическую характеристику, соответствующую новой синхронной частоте вращения, и тормозится до частоты вращения  $T_2$ , соответствующей данному моменту  $M$ .

Процесс пуска электродвигателя начинается с момента введения его из неподвижного состояния до момента достижения им установившейся частоты вращения. Для обеспечения пуска должно соблюдаться условие

$$M_n > M_c$$

где  $M_n$  — момент, развиваемый электродвигателем при пуске (этому моменту соответствует точка  $f$  на рис. 1 при  $\eta = 0$  или  $s = 1$ );  $M_c$  — момент сопротивления механизма.

Пуск большинства асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором на судах осуществляется путем непосредственного их включения на полное напряжение сети. Однако ток, потребляемый двигателем при пуске, превышает номинальный в пять-десять раз, что приводит к повышению падению напряжения на подводных кабелях и снижению напряжения, подводимого к зажимам электродвигателя. Снижение напряжения питания вызывает уменьшение пускового момента, развиваемого электродвигателем (точка  $f$  на рис. 1), и при  $M_n < M_c$  пуск электродвигателя становится невозможным.

Для уменьшения пускового тока асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором применяется переключение обмоток статора с треугольника на звезду на период пуска. В этом случае за счет уменьшения в  $\sqrt{3}$  раз напряжения, прикладываемого к обмотке статора, пусковой ток уменьшается в три раза с одновременным уменьшением пускового момента тоже в три раза (см. рис. 1).

Разгон электродвигателя при пуске (изменение частоты вращения  $\eta$  и развиваемого момента  $M$ ) происходит по механическим характеристикам, соответствующим данному способу пуска. Установившееся значение частоты вращения  $\eta$  определяется естественной механической характеристикой двигателя и моментом сопротивления на валу.

Подводимая к электродвигателю из судовой сети электроэнергия не полностью преобразуется в механическую. Небезопасно при любом преобразовании энергии потери выделяются в виде тепла и нагревают обмотки и металлические части элект-

родвигателя, а часть тепла передается в окружающую среду. Особенно возрастают потери энергии при переходных процессах, когда сила тока в обмотках статора увеличивается по сравнению с номинальной в несколько раз.

В электродвигателе существуют постоянные потери энергии, не зависящие от нагрузки (потери в стали магнитопровода, механические потери на трение в подшипниках вентиляцион — ные потери на охлаждение электродвигателя), и переменные — в активных сопротивленных меди обмоток. Последние изменяются пропорционально квадрату протекающего в обмотках тока.

При прохождении тока нагрузки тепловая энергия, выделяющаяся в электродвигателе вследствие потерь, в начальный период расходуется главным образом на повышение температуры отдельных его частей над температурой окружающей среды. Через некоторое время наступает равновесие — количество выделяемого в электродвигателе тепла становится равным количеству тепла, отдаваемого им в окружающую среду. В этом случае температура частей электродвигателя будет сохраняться практически постоянной. Такая температура называется установившейся. В соответствии с действующими государственными стандартами температура считается установившейся, если в течение часа изменение последней не превышает  $1^\circ\text{C}$ .

Графически изменение температуры электродвигателя во времени представляет собой кривую, называемую экспонентой (рис. 3).

Конечная температура электродвигателя  $\theta$  равна:

$$\theta = \tau + \theta_0$$

где  $\theta_0$  — температура окружающей среды, для судовых помещений  $\theta_0 = 45^\circ\text{C}$ ;  $\tau$  — разность превышения температур электродвигателя и окружающей среды.

Кривая 2 на рис. 3 показывает процесс изменения температуры электродвигателя при нулевой начальной разности температур:  $\tau_0 = 0$ , а кривая 1 — при некотором значении  $\tau_0$ , отличном от нуля.

Через время  $T$ , называемое постоянной времени нагревания электродвигателя, значение  $\tau$  будет равно  $0,632\tau_{уст}$  — установившегося значения температуры.

Постоянная времени нагревания представляет собой время, за которое разность температур электродвигателя и окружающей среды достигнет значения  $\tau_{уст}$  при условии, что отлача



тепла в окружающую среду отсутствует и вся тепловая энергия, выделяемая в электродвигателе, расходуется на его нагревание. Теоретически температура электродвигателя устанавливается бесконечно долго, однако уже при  $t = (5 \div 6) T$  можно считать, что температура практически установилась. Процесс охлаждения электродвигателя при полностью снятой нагрузке происходит по кривой 3 (рис. 3, б). Кривая 4 показывает изменение температуры при переходе электродвигателя в режим с меньшей нагрузкой.

По характеру изменения теплового состояния (температуры) электродвигателя различают следующие режимы работы:

- продолжительный;
- кратковременный;
- повторно-кратковременный.

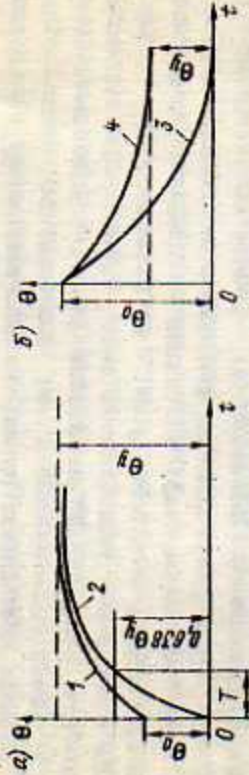


Рис. 3. Изменение превышения температуры электродвигателя при нагревании (а) и охлаждении (б).

В продолжительном режиме время работы настолько велико, что все части электродвигателя нагреваются до установившейся температуры, значение которой определяется нагрузкой на валу. ГОСТ 183-74 присваивает этому режиму работы условное обозначение S1.

В кратковременном режиме время работы мало, и электродвигатель не успевает нагреться до установившегося значения. Следующая затем пауза настолько велика, что он охлаждается до температуры окружающей среды. Этот режим характеризуется допускаемым временем непрерывной работы двигателя. Значения продолжительности работы, установленные стандартом, равны 15, 30, 80 и 90 мин. Условное обозначение режима S2.

В повторно-кратковременном режиме двигатель периодически включается и отключается. При этом за время работы он не успевает нагреться до установившейся температуры, а во время паузы не успевает остыть до температуры окру-

жающей среды. Повторно-кратковременный режим характеризуется большей продолжительностью включения (ПВ).

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_n} \cdot 100\% = \frac{t_p}{T_c} \cdot 100\% \quad (4)$$

где  $t_p$  - продолжительность рабочего периода;  $t_n$  - продолжительность паузы;  $T_c$  - продолжительность цикла.

Промышленностью выпускаются электродвигатели с ПВ, равной 15, 25, 40 и 60%. Условное обозначение режима - S3.

Для обеспечения надежной работы электродвигателей в режимах S2 и S3 в системах управления ими должны предусматриваться специальные элементы, не допускающие тепловой перегрузки в тех случаях, когда конструкция привоимого механизма позволяет нарушить этот режим. При выполнении НСР необходимо обращать особое внимание на обеспечение условий, характеризующих эти режимы.

## В 2. АППАРАТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Аппараты систем управления служат для измерения, контроля, синхронизации, защиты и регулирования различных параметров и характеристик судовых электроприводов.

В судовых электроприводах наиболее распространены:

- коммутационные аппараты;
- аппараты для автоматического и дистанционного управления и контроля;
- аппараты защиты электрических цепей и электродвигателей;
- датчики для контроля режимов работы системы управления или параметров обслуживаемой электроприводом системы.

Сложность аппаратов с точки зрения их настройки определяется необходимостью применения операции "регулировка". Можно выделить аппараты:

- с регулируемыми параметрами;
- с регулируемыми механическими параметрами и характеристиками;
- с регулируемыми электрическими параметрами и характеристиками;
- комбинированные, у которых регулируются и механические и электрические параметры, характеристики.







На рис. 5 приведена вспомогательная схема для регулировки уставки срабатывания токового реле. Регулировка тока или напряжения срабатывания реле осуществляется путем изменения начального воздушного зазора между сердечником и якорем реле и катящегося возвратной пружины. Максимальная величина зазора определяется предельными значениями расстояний и провалов контактов. Максимальное первоначальное

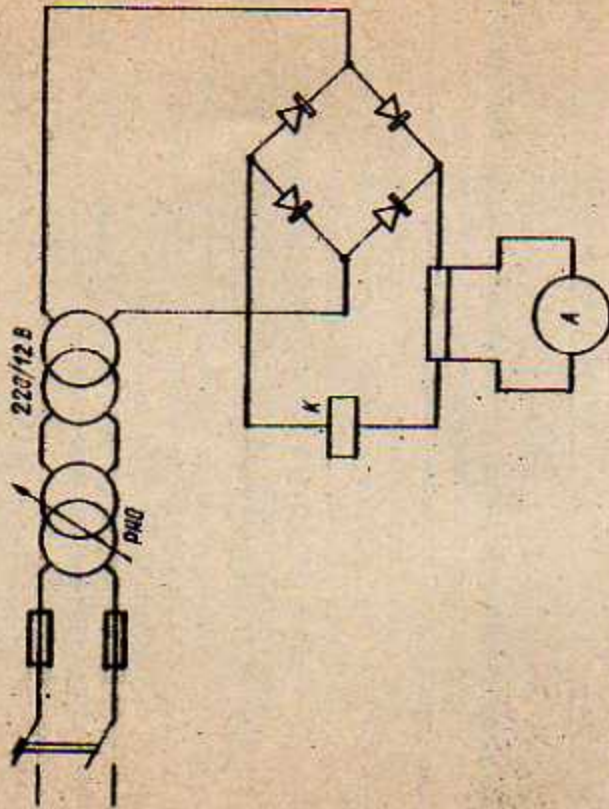


Рис. 5. Вспомогательная схема для регулировки тока срабатывания и возврата реле.

сжатие пружины должно быть таким, чтобы при притянутом ястре ватки пружины не касались друг друга.

Следует помнить также, что величина уставки зависит от скорости изменения силы тока в цепи катушки реле, и поэтому изменение силы тока или напряжения при регулировке должно производиться плавно, без скачков.

Для получения выдержки времени в схемах управления электромагнитными реле применяются различные по конструкции реле: электромагнитные, магнитоэлектрические, реле с воздушными замедителями, а также электромоторные и электродинамические. Здесь будут рассмотрены подробно только электромагнитные реле.

Выдержка времени в электромагнитных реле создается специальной демпферной (замедляющей) гильзой, представляющей собой короткозамкнутый виток, помещенный на сердечнике. После снятия напряжения с катушки такого реле якорь его отпущает не сразу, а через некоторый промежуток времени, определяемый конструктивными параметрами реле. У реле такой конструкции этот промежуток не превышает 10 с. Выдержка времени при прочих равных условиях будет тем больше, чем больше индуктивность гильзы и сжатие возвратной пружины. Индуктивность  $L$  катушки в общем случае определяется по формуле

$$L = \frac{\mu S \omega^2}{l} \quad (5)$$

где  $\mu$  — магнитная проницаемость материала сердечника;  $S$  — сечение сердечника;  $\omega$  — число витков катушки;  $l$  — длина магнитной цепи. Так как  $l$  включает в себя и немагнитный зазор между сердечником и якорем, то изменением его величины можно изменять индуктивность гильзы, а следовательно, и выдержку времени реле в достаточно широких пределах.

Изменение величины зазора достигается установкой специальных немагнитных прокладок между якорем и сердечником.

При регулировке уставок срабатывания электромагнитных аппаратов их значение следует определять как среднее арифметическое не менее чем трех измерений по формуле

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \quad (6)$$

где  $a$  — значение уставки;  $a_1, a_2, a_3$  — результаты измерений уставки.

Особенностью контакторов с катушками переменного тока является зависимость тока катушки от положения подвижной части сердечника. Известно, что ток, проходящий через катушку, определяется ее индуктивностью:

$$I = \frac{V}{X} = \frac{V}{2\pi f L} = \frac{V l}{2\mu S \omega^2 \pi f} \quad (7)$$

где  $X$  — индуктивное сопротивление катушки;  $f$  — частота тока питающей сети. Остальные обозначения аналогичны обозначениям в формуле (5). Из формулы (7) видно, что при прочих равных условиях ток прямо пропорционален длине магнитной цепи,



зависшей от положения подвижной части сердечника. В исходном положении воздушный зазор между подвижной и неподвижной частями сердечника максимален. При подключении напряжения к катушкам катушки начальный (пусковой) ток превышает ток удержания в несколько (от 10 до 15) раз. Если при этом подвижная часть не достигнет конечного положения, то катушка может выйти из строя.

Все аппараты защиты электрических цепей систем управления и электродвигателей с точки зрения НСР являются аппаратами комбинированными, причем регулировка электрических параметров производится в период НСР практически всегда, а механических параметров и характеристик - в случае обнаружения дефекта.

Около 50% отказов электродвигателей происходит из-за неудовлетворительной защиты. Исследования показывают, что разброс времени срабатывания электротепловых реле защиты электродвигателей, даже неотрегулированных, практически не влияет на их аварийность. Таким образом, под неудовлетворительностью защиты следует понимать отказ аппарата защиты.

В настоящее время самым распространенным аппаратом защиты электродвигателей от перегрузок является электротепловое реле типа ТРТ. В зависимости от схемы включения обмоток электродвигателя для его защиты необходимо различное количество реле. (На рис. 9, 1 приведена схема включения реле при соединении обмоток звездой, на рис. 17 - треугольником). В некоторых схемах электротепловые реле применяются для контроля нагрузки электродвигателя. В этом случае их нагревательные элементы включаются в главную цепь, но контакты воздействуют либо на сигнальные устройства (звонок, лампу и т.д.), либо на систему управления и изменяют режим работы асинхронного электродвигателя. Наиболее распространены грузовые реле в системах управления многоскоростными двигателями якорно-шестеренных механизмов.

Существующая методика регулировки уставки срабатывания этих реле [8] трудоемка. Она не учитывает результатов исследований последних лет о причинах отказов электродвигателей. Время, затрачиваемое на регулировку уставки одного реле, составляет от 10 до 30 мин, что значительно удлиняет сроки проведения НСР электроприводов и не позволяет осуществлять полную проверку работоспособности реле в условиях стенда.

Наиболее целесообразно как с экономической, так и с технологической точки зрения является регулировка уставки электротепловых реле при включении их на двукратный номинальный ток с холостого состояния. Время срабатывания реле при этом не превышает 80 с. Известно, что зависимость времени срабатывания аппарата от тока в его главной цепи зависит в максимальной степени соответствовать перегрузочной характеристике защищаемого объекта (электродвигателя). Указанный способ регулировки в наибольшей степени отвечает этому требованию.

Испытательный ток при выполнении операции "регулировка" создается с помощью устройства проверки защиты типа

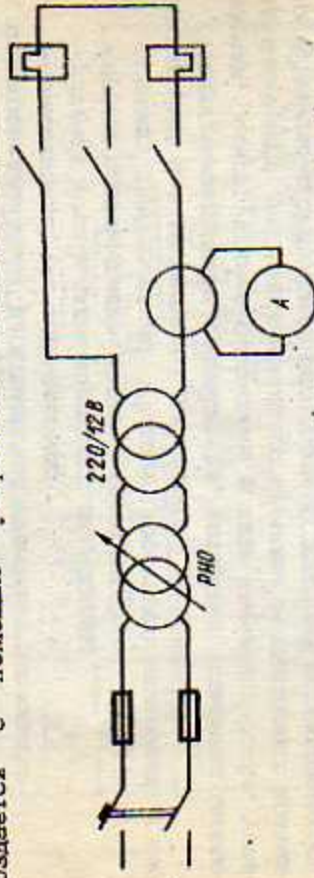


Рис. 6. Вспомогательная схема для регулировки электротеплового реле.

ППЗ-1000-50. Однако с помощью этого устройства можно испытать электротепловое реле с номинальным током не более 100 А. Если специальное устройство отсутствует, то можно отрегулировать уставку с помощью вспомогательной схемы, приведенной на рис. 6.

Автоматические выключатели предназначены для коммутации и защиты электрических цепей при перегрузках и коротких замыканиях. Автоматические воздушные выключатели обладают целым рядом преимуществ перед рубильниками и предохранителями и широко применяются на судах. К числу этих преимуществ в первую очередь можно отнести следующие:

- при перегрузках и коротких замыканиях отключаются все три фазы защищаемой сети, что исключает работу трехфазных двигателей на двух фазах;

- выключатели обеспечивают более совершенную защиту потребителей по сравнению с предохранителями, так как их



характеристики в большей степени соответствуют перегрузочным характеристикам защищаемых объектов;

- время взвода выключателя и повторного включения значительно меньше времени, необходимого для замены сгоревшего предохранителя, что уменьшает простои электрооборудования;
- коммутация цепи выключателем производится более быстро и менее опасно, чем рубильником, кроме этого, появляется возможность дистанционного отключения и включения потребителя.

С точки зрения НСР автоматические выключатели являются комбинированными аппаратами.

Конструкция автоматических выключателей серии А-3700Р с полупроводниковым расцепителем позволяет изменить:

- номинальный ток расцепителя;
- уставку тока в зоне короткого замыкания;
- время срабатывания в зоне перегрузки;
- время срабатывания в зоне короткого замыкания у выключателей с замедлителем контактного аппарата<sup>1</sup>.

Полупроводниковые расцепители, которыми оснащены выключатели, конструктивно оформлены в виде съемного блока, устанавливаемого на выключатель со стороны неподвижных контактов. Под съемной крышкой расположены рукоятки потенциометров, с помощью которых можно изменить величину уставки по номинальному току (потенциометр "номин. ток"), выдержку времени в зоне перегрузки (потенциометр "сек. перегр. в  $I_H$ "<sup>2</sup>) и кратность тока уставки по отношению к номинальному току в зоне короткого замыкания (потенциометр " $I/I_H$  короткое замыкание"). В расцепителях с замедлителем контактного аппарата справа располагается еще одна рукоятка потенциометра, с помощью которого можно изменить уставку выдержки времени в зоне короткого замыкания. Под этой же съемной крышкой расположены переключатель напряжения питания независимого расцепителя<sup>2</sup> и контрольные гнезда.

<sup>1</sup> Применение термина "селективная приставка" стандартом ГОСТ 17703-72 не допускается.

<sup>2</sup> Термин "отключающий" или "дистанционный" расцепитель отнесен ГОСТ 17 703-72 к недопустимым.

Переключатель имеет два положения. Первое соответствует напряжению питания от 110 до 220 В, а второе - от 220 до 440 В. Контрольные гнезда служат для подключения приборов и имеют маркировку от 1 до 5.

Упрощенная принципиальная электрическая схема измерительных элементов и расцепителя приведена на рис. 7. Трансформаторы тока ТТ1-ТТ3, измерившие силу тока в полюсах выключателя, соединены в звезду с нулевым проводом. Выпрямитель на диодах Д1-Д3, предназначен для получения сигнала, пропорционального току в главной цепи выключателя. Резистор

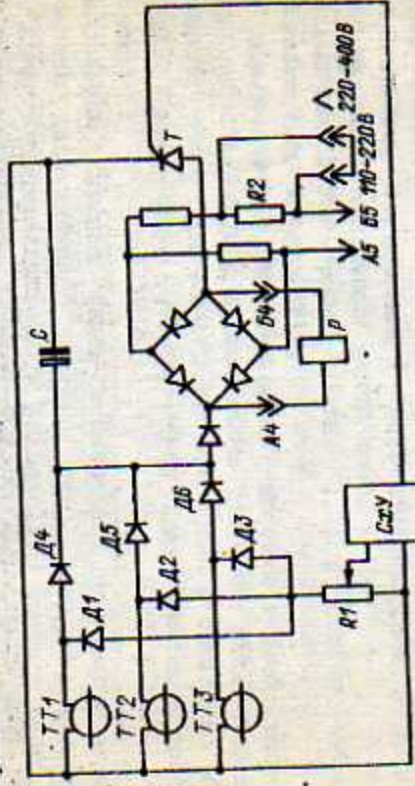


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема тол. тр. водникового расцепителя.

R1 соответствует потенциометру "номинальный ток". Выпрямитель на диодах Д4-Д6 служит для питания всех цепей полупроводникового расцепителя. Конденсатор С накапливает энергию, которая потом используется для включения расцепителя Р по сигналу от схемы управления СтУ, открывающей тиристор Т, обеспечивая тем самым разряд конденсатора через обмотку расцепителя Р. При включении расцепителя от внешнего источника, когда он работает как независимый расцепитель, напряжение подается на клеммы А5 и Б5 штепсельного разъема. При напряжении питания от 110 до 220 В резистор R2 шунтируется переключателем.

Регулировка параметров и характеристик этих выключателей в период НСР рассмотрена ниже.



### § 3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Под системой управления понимается совокупность аппаратов, органов управления и контроля, датчиков, а также элементов и устройств защиты электропривода. Все электрические цепи систем управления судовыми электроприводами подразделяются на:

- главные цепи, через которые проходит основной поток электрической энергии, потребляемой электроприводом от сети;
- цепи управления, посредством которых осуществляется подача команд к коммутационным устройствам главной цепи;
- цепи сигнализации, которые дают оператору информацию о состоянии главных цепей и значениях параметров электроприводов.

Связь этих цепей между собой показывается с помощью различных схем. При проведении настройки и слаточных испытаний из всех существующих видов схем нас будут интересовать прежде всего электрические, которые в зависимости от назначения подразделяются на:

- принципиальные, определяющие полный состав элементов и электрических соединений между ними;
- соединений (монтажные), определяющие порядок электрического соединения жил проводов и кабелей с зажимами, штепсельными разъемами и прочими элементами;
- подключения, указывающие порядок внешнего подключения кабелей и проводов к аппаратуре и приборам;
- функциональные, разъясняющие процессы, протекающие в функциональных цепях или аппаратуре в целом;
- структурные, определяющие функциональные части системы, их назначение и взаимосвязь;
- расположения, определяющие относительное расположение составных частей изделия, а также проводов, кабелей, труб и т. д.

Для выполнения одних и тех же задач управления могут быть спроектированы различные системы, отличающиеся друг от друга схемой технологичностью илистраиваемостью. Идеальной будет такая система, трудоемкость настройки которой равна нулю, т.е. сразу после окончания монтажа возможна эксплуатация ее по прямому назначению - без выполнения каких бы то ни было настроечных работ.

Если проанализировать технологический процесс настройки по трудоемкости основных операций и приемов, то оказывается, что основной объем настроечных работ по системам управления асинхронными электроприводами приходится на операцию "проверка правильности выполнения электромонтажных работ". (Определение всех перечисленных в этом разделе операций дано в § 4 настоящей работы и в литературе [6]). Трудоемкость операции "контроль качества изоляции" не может быть меньше той, которая необходима для подготовки и проведения измерения сопротивления изоляции один раз, возможность сокращения трудозатрат на операцию "проверка функционирования" отграничена временем на подготовку этой операции и временем, необходимым для совершения всех действий системой управления, т.е. так называемым машинным временем.

Основная часть первой из этих операций, как будет показано ниже, выполняется с помощью технологического приема "звонок", трудоемкость которого прямо пропорциональна количеству соединительных проводов в принципиальной схеме. При оценке технологичности системы управления в целом следует учитывать, что трудоемкость этого приема зависит от числа жил кабеля, соединяющего отдельные блоки системы между собой.

Однако оценка технологичности системы в настройке только по числу соединительных проводов была бы неправильной, так как в этом случае автоматизированные системы окажутся менее технологичными, чем системы неавтоматизированные, и не удастся оценить влияние трудоемкости операций "проверка функционирования" и "контроль работоспособности" на настройку системы. Трудоемкость первой операции зависит прежде всего от числа операций, выполняемых системой управления, под которыми в дальнейшем будем понимать "стой", "пуск", "сигнализацию о работе, сигнализацию об аварии, защиту по какому-либо параметру и т.д. При наличии в системе, помимо местного, дистанционного или автоматического управления число операций должно быть соответственно удвоено или утроено. То же самое следует сделать и в случае управления многоростным асинхронным электродвигателем. Количество операций сигнализации определяется в любом случае только числом сигнальных ламп или других устройств сигнализации (звонок, ревунов и т.д.).

Очевидно, что словесная оценка технологичности настройки той или иной системы неудобна и не обладает достаточной



объективности, поэтому воспользуемся следующей формулой для количественной оценки технологичности:

$$St = 0,55456 \frac{S}{n} - 0,27119 \frac{R}{Z} + 0,04363 q \quad (8)$$

где:  $St$  - степень технологичности;  $R$  - количество соединительных проводов в принципиальной схеме;  $S$  - количество элементов принципиальной схемы;  $n$  - число выполняемых системой операций управления, контроля и защиты;  $Z$  - число жил кабелей, соединяющих блоки системы между собой;  $q$  - число узлов в принципиальной электрической схеме;  $S/n$  - показатель эффективности использования элементов в рассматриваемой схеме реализации;  $R/Z$  - показатель территориальной разобщенности элементов и блоков системы управления.

Существуют две принципиально отличающиеся друг от друга группы систем управления асинхронными двигателями - без реверсирования и с реверсированием, поэтому в качестве базовых следует выбрать две разные схемы.

Из формулы (8) следует, что чем ближе к единице значенные степени технологичности для данной системы, тем больше она приспособлена к выполнению операций и приемов настройки. Однако оптимальное с точки зрения технологичности и настройки схемное решение не может уменьшить трудоемкость выполнения операции "контроль качества изоляции". Трудоемкость этой операции может быть снижена только путем применения специальных технологических решений, одно из которых будет рассмотрено в § 4. Трудоемкость операции "контроль работоспособности" зависит от схемной технологичности и программы испытаний. Возможность снижения трудовых затрат на проведение этой операции рассмотрена в § 4 и 6.

Рассмотрим системы, выбранные в качестве базовых. На рис. 8, а приведена система управления асинхронным электродвигателем без реверсирования, выполняющая следующие операции: пуск и остановку электродвигателя с помощью кнопки КЭП и КЭС; соответственно; защиту его от перегрузок с помощью электротепловых реле типа ТР1 и от коротких замыканий с помощью автоматического выключателя А; защиту цепи управления от коротких замыканий предохранителями. Для этой схемной реализации, выбранной нами в качестве базовой, значения составляющих, входящих в формулу (8), следующие:  $n = 21$ ,  $S = 16$ ,  $Z = 8$ ,  $q = 5$  и коэффициент технологичности  $St = 0,4$ .

Аппараты и элементы на схемах изображаются, как правило, в отключенном положении, т. е. при отсутствии во всех цепях схемы тока и внешних принудительных сил, воздействующих на подвижные контакты (конечные выключатели, кнопки и т.д.). Если от этого правила сделано отступление, то оно оговаривается на схемах. Но так или иначе схема изображает какое-то одно положение аппаратов и элементов. На самом же деле при подаче на систему напряжения или при воздействии на управляющие органы в схеме совершаются изменения, причем они протекают во времени. При настройке сложных систем настройку приходится составлять диаграммы взаимодействия элементов, фиксирующие эти изменения. Рассмотрим на примере данной схемной реализации составление диаграмм.

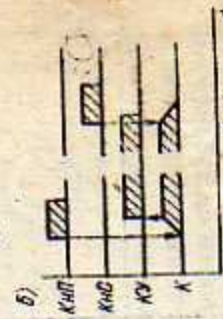
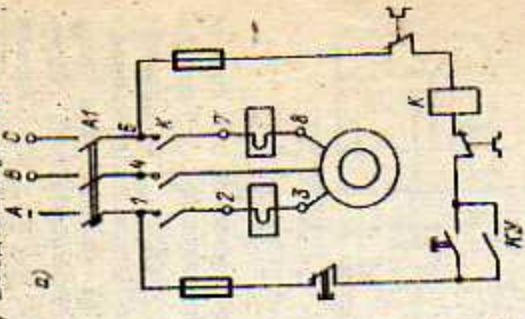


Рис. 8. Система управления асинхронным электродвигателем без реверсирования: а - принципиальная электрическая схема; б - диаграмма взаимодействия элементов.

Ранее употреблявшийся термин "блок-контакт" отнесен к недопустимым.



размыкания кнопки КВС или срабатывания электротеплового реле. При размыкании кнопки ЧВС в момент  $t_3$  контактор К отключается, размыкает в момент  $t_4$  контакт КУ, после чего кнопка КВС может быть отпущена. Также практически одновременно размыкаются контакты главной цепи, и обмотка двигателя отключается от сети. Аналогично схема работает при срабатывании электротепловых реле или при перегорании предохранителей. Только при срабатывании автоматического выключателя А1 питание одновременно снимается и с цепей управления, и с главной цепи.

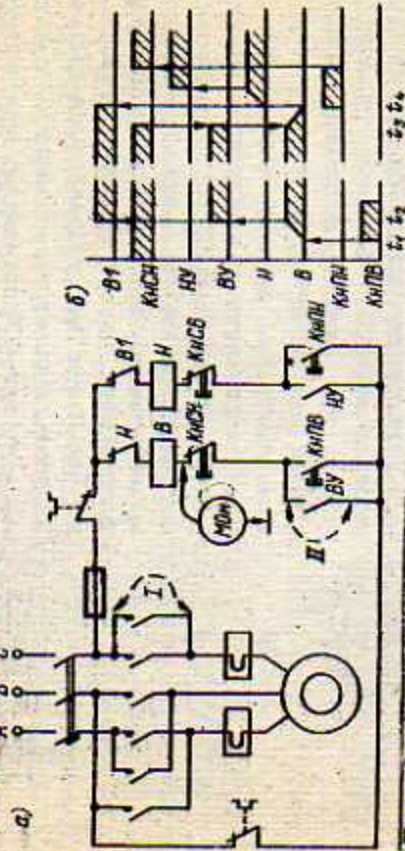


Рис. 9. Система управления асинхронным электродвигателем с реверсированием: а - принципиальная электрическая схема; б - диаграмма взаимодействия.

Схемная реализация системы управления асинхронным электродвигателем с реверсированием приведена на рис. 9, а. Система выполняет следующие операции: пуск вперед и назад, остановку электродвигателя с помощью кнопок КВП, КВПН, КВС соответственно и все защитные операции системы, схема которой приведена на рис. 9, а. Основной принципиальной особенностью этой схемы является наличие перекрестных связей между цепями контакторов В и Н, которые предназначены для исключения одновременного включения этих контакторов. Как видно из рис. 10, а, одновременное включение контакторов В и Н приводит к короткому замыканию в главной цепи.

Для схемной реализации, принятой нами в качестве базовой, значения величин, входящих в формулу (8), следующие:  $R = 36$ ,  $S = 26$ ,  $Z = 6$ ,  $\eta = 6$ . Подставив эти значения в формулу (8),

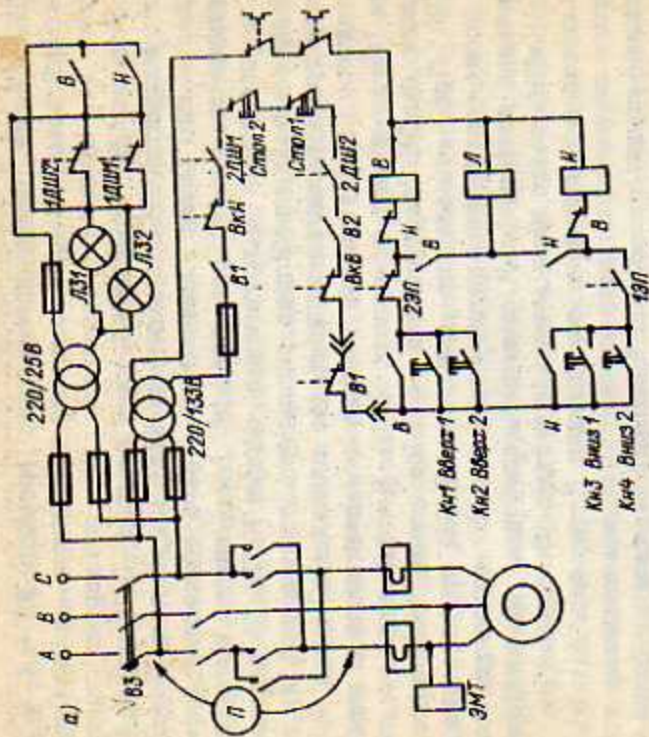
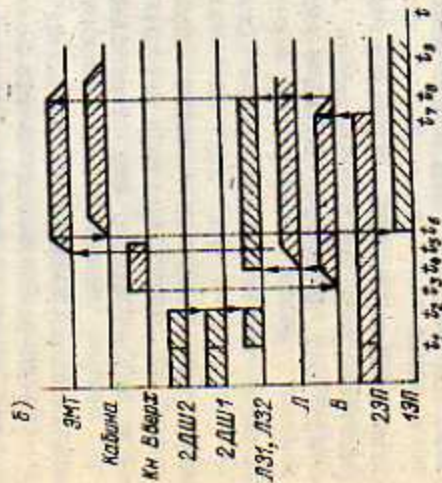


Рис. 10. Система управления камбузным лифтом; а - принципиальная электрическая схема; б - диаграмма взаимодействия элементов.



получим значение коэффициента технологичности базовой системы данной группы:

$$St_{\delta_2} = 1.$$

Рассмотрим работу этой системы с помощью диаграммы взаимодействия. Пусть в момент времени  $t_1$  замкнется кнопка



КнПВ. Тогда через промежуток времени  $\Delta t = t_2 - t_1$ , определяемый временем срабатывания контактора, включается контактор В. Контакт управления ВУ шунтирует кнопку КнПВ, а контакт В1 разомкнет цепь катушки Н. Контакты главной цепи контактора В подают питание на обмотку электродвигателя, и он начнет вращаться. Такое состояние схем будет сохраняться до тех пор, пока не разомкнутся контакты кнопки КнС3, связанные с контактами кнопки КнПН. В первом случае диаграмма взаимодействия приведена на рис. 8. 6.

Рассмотрим размыкание контакта кнопки КнСН при включенном контакторе В. Пусть при работающем двигателе в момент времени  $t_3$  нажимают на кнопку КнПН. Кнопка устроена так, что контакт КнСН разомкнется раньше, чем замкнется контакт КнПН. При размыкании контакта КнСН отключается катушка В, после чего замыкается контакт В3 создается цепь для включения контактора Н, который, сработав, шунтирует контакт КнПН, после чего можно отпустить кнопку КнПН.

Описанные схемные реализации (см. рис. 8 и 9) используются с разными несущественными изменениями во многих судовых электроприводах. Рассмотрим теперь более сложную систему управления на примере схем, приведенной на рис. 10, а, б. Система управления камбузным двигателем выполняет следующие операции:

- пуск и остановку электродвигателя с двух постов в направлении "Вверх" и "Вниз" (три операции);
  - автоматическую остановку кабины на двух этажах (две операции);
  - автоматическую остановку электродвигателя при открытии дверей лифта (две операции);
  - автоматическую остановку электродвигателя при срыве троса или при повышенной скорости спуска (одна операция);
  - сигнализацию о работе лифта и закрытии дверей шахты (две операции);
  - остановку электродвигателя с помощью электромагнитного тормоза (одна операция);
  - автоматическую остановку при переполнении или пересушке (две операции), т.е. при отказе этажных переключателей, а также все защитные операции.
- Данная схемная реализация характеризуется следующими величинами:  $R = 74$ ,  $S = 54$ ,  $Z = 75$ ,  $\Gamma = 16$ . Отсюда коэффициент технологичности

$$St = 2,43.$$

Схема не обладает достаточно высокой степенью технологичности из-за большого числа жил кабелей и элементов.

Рассмотрим диаграмму взаимодействия для этой схемы (рис. 10, б). Исходное состояние соответствует случаю, когда кабина лифта находится на первом этаже, двери шахты открыты и питание со схемы снято. Одновременно с подачей питания на схему выключателем В3 загораются лампы Л31 (момент времени  $t_1$ ). При закрытии дверей шахты замыкаются контакты ЛДШ1 и ЛДШ2, после чего лампы Л31 и Л32 гаснут и система управления лифтом готова к работе (момент  $t_2$ ).

Пусть в момент времени  $t_3$  замкнутся контакты кнопки Кн1 "Вверх" и подается питание на катушку КВ. Сработав в момент времени  $t_4$ , контактор замкнет свой контакт в главной цепи и подготовит цепь для питания электродвигателя. Контакт управления шунтирует кнопку Кн1 "Вверх", и ее можно будет отпустить. Через вспомогательный контакт В подается питание на катушку Л1 и зажигаются сигнальные лампы Л31, Л32. В момент времени  $t_5$  контактор Л замкнет контакт в главной цепи и подаст питание на обмотку электродвигателя и катушку электромагнитного тормоза ЭМТ. В момент времени  $t_6$ , после того как ЭМТ рестормозит электродвигатель, он начнет вращаться и кабина будет перемещаться вверх до тех пор, пока не сработает этажный переключатель ЭЭЛ. Сработав, он разомкнет цепь катушек контакторов Г и Л. Контакты этих контакторов замыкаются в момент времени  $t_7$ . Тогда гаснут лампы Л31, Л32, снимается питание с электродвигателя и электромагнитного тормоза и кабина начинает останавливаться. Через промежуток времени  $\Delta t_{каб} = t_{10} - t_9$ , определяемый скоростью плавнения кабины при подъеме и действии тормоза, она остановится.

Таким образом, одной из задач при настройке электропривода лифта является получение заданной точности остановки кабины на этаже. При построении диаграммы следует обратить внимание на срабатывание этажного выключателя ЭЭЛ в момент ухода кабины с первого этажа. Сработав, переключатель ЭЭЛ подготавливает цепь для срабатывания контактора Н при нажатии кнопки Кн3 "Вниз" (или Кн4 "Вниз"). Однако до отключения контактора В включить контактор Н не удастся, так как в его цепь включен вспомогательный замыкающий контакт В.



#### § 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАСТРОЙКИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Под технологическим процессом настройки понимается совокупность операций и приемов, которые надо выполнить, с тем чтобы ввести настроиваемое электрооборудование в действие, обеспечив при этом заданные качественные и количественные характеристики.

Любой технологический процесс в определенной степени является отражением совокупности технологических свойств объекта настройки, которая обуславливает его содержание и особенность.

Технологический процесс настройки судового электропривода состоит из следующих операций и приемов (рис. 11):

- подготовка электрооборудования к настроенно-сдаточным работам;
- проверки правильности выполнения электромонтажных работ;
- проверки обмоток электродвигателя;
- контроля качества сопротивления изоляции обмоток электродвигателя и элементов системы управления;
- проверки функционирования аппаратов защиты;
- контроля работоспособности аппаратов защиты;
- проверки функционирования системы управления;
- проверки функционирования электропривода с определением направления вращения;

- контроля работоспособности электропривода в целом.  
 При установлении факта существования дефекта в настройваемой системе переходят к операции "поиск дефекта". В том случае, когда неисправность может быть устранена регулировкой, применяют операцию настройки "регулировка".

Указанная последовательность выполнения операций настройки, составляющих технологический процесс НСР, обеспечивает минимальное влияние дефектов и ошибок, полученных при выполнении предыдущей операции, на последующие операции. Если не соблюдается последовательность выполнения операций, то при установлении факта существования дефекта поиск его многократно усложняется ввиду затруднений при ограничении области возможной неисправности по наблюдаемым признакам. Причиной неисправности при проверке функционирования системы управления может являться и неформальная связь между элементами, и выход элемента из строя. В том случае, когда перед

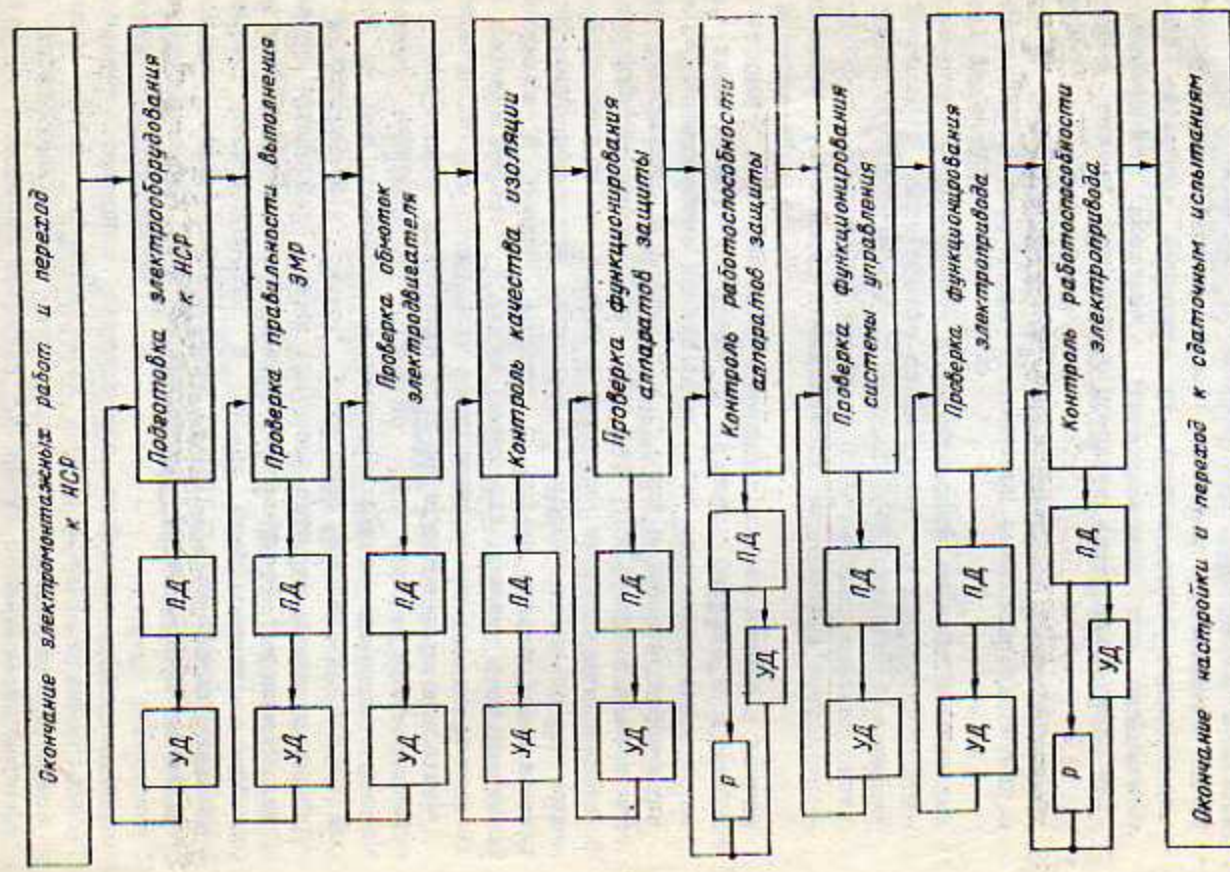


Рис. 11. Технологический процесс настройки судового электропривода.



При небольшом количестве проводов и открытой их прокладке с помощью визуального контроля можно решить и вторую задачу, т.е. проверить правильность соединения аппаратов и элементов в соответствии с принципиальной и монтажной схемами.

Вторая задача решается с помощью технологического приема "прозвонка". Необходимо отметить, что при выполнении НСР прозвонка служит еще и для устранения неточностей и ошибок, которые могли появиться как при составлении документации, так и при выполнении электромонтажных работ.

Для выполнения технологического приема "прозвонка" применяются самые разнообразные приборы и приспособления, принцип действия которых сводится к пробнику (рис. 12). Резистор  $R_1$  служит для ограничения силы тока, протекающего через измерительный прибор.

Прозвонку начинают с целей питания. Для этого подключают пробник  $\Gamma$  к точкам А и В (рис. 13). При этом одно-

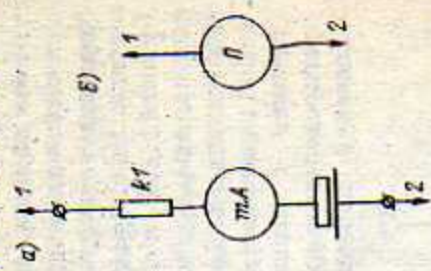


Рис. 12. Пробник: а - принципиальная электрическая схема; б - условное обозначение.

этим была выполнена операция "проверка правильности выполнения электромонтажных работ", область существования нецелесообразности сразу ограничивается только второй причиной, что, естественно, позволяет существенно сократить трудоемкость настройки электроприбора.

Технологический процесс настройки начинается с операции "подготовка электрооборудования к НСР", содержание которой составляют расконсервация и чистка оборудования, а также сборка всех вспомогательных схем, необходимых для выполнения остальных операций. Этими вспомогательными схемами могут быть измерительные схемы, различные имитаторы датчиков и т.д. В том случае когда проверка функционирования схем управления производится отдельно, при неработающем механизме, необходимо отключить питание асинхронного двигателя. В зависимости от мощности электродвигателя (и соответственно сечения кабеля), а также сложности главной цепи разрыв производится в разных точках. В случае систем управления без реверсирования при мощности электродвигателя до 50 кВт цепь разрывается в точках 3 и 5, т.е. на выходящих зажимах электротепловых реле (см. рис. 6). При больших мощностях разрыв производят в точках 2 и 7. Если в системе управления применяется несколько контакторов (т.е. так называемый магнитный контроллер), то проще не подавать питание на главную цепь вообще, а с помощью временной схемы запитать только цепь управления.

Операция "проверка правильности выполнения электромотажных работ" преследует решение двух технологических задач: - проверку установленного электрооборудования, элементов и аппаратов с точки зрения соответствия их требованиям конструкторской документации по техническим данным, количеству и месту установки; - проверку правильности соединения, электрооборудования и аппаратов электроприбора в соответствии с электрическими схемами.

Первая задача решается с помощью технологического приема "визуальный контроль". Дополнительно при визуальном контроле обращают внимание на механические повреждения, несущий вид осматриваемого элемента (почернение, следы нагара и т.д.), качество соединения жил с клеммами, корпусом и экраном кабеля, на посторонние предметы в соединительных ящиках, корпусах пускателей, клеммных платах и т.д.

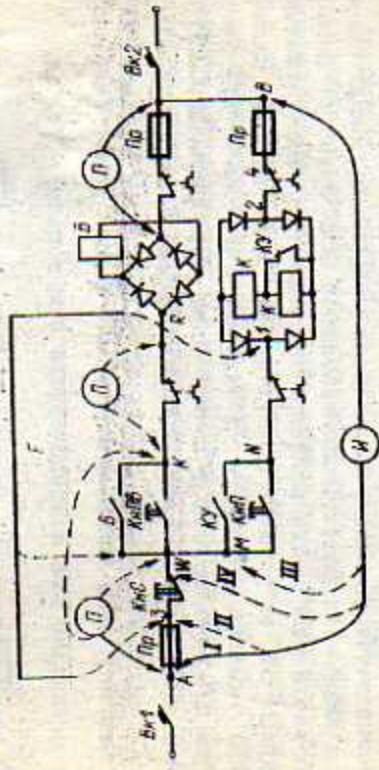


Рис. 13. Прозвонка схемы с помощью пробника.

временно проверяется целостность и правильность цепи между ними, а при нажатии на кнопку КИС-и ее исправность. Затем, оставив шуп 2 подключенным к точке W, проверяют цепь W/K,



совмещая проверку цепи с проверкой кнопки КнПВ и других кнопок в той последовательности, которую показывают положения пробника на рисунке.

Одновременно с прозвонкой электрических цепей необходимо проверить количество жил, подключенных в каждой монтажной точке. Например, в монтажной точке *W* на клемме замыкающей кнопки КнПВ должны быть присоединены три провода: перемычка от кнопки КнС, провод к контакту В и перемычка к замыкающей кнопке КнП.

В системах управления с автоматическим переключением питания с одного источника на другой, например с главного распределительного щита на аварийный, необходимо при выполнении прозвонки обращать внимание не только на порядок

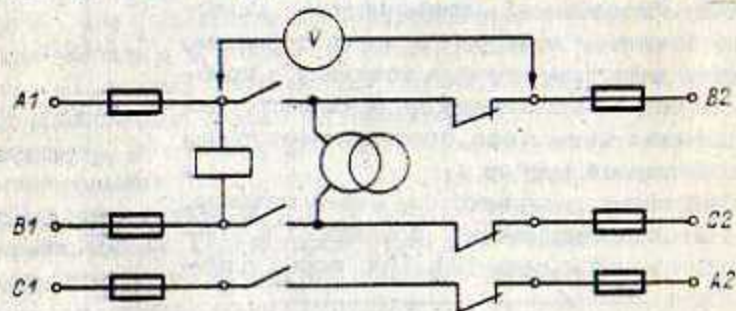


Рис. 14. Определение одноименности фаз питающей сети.

следования фаз, но и на одноименность фаз. Поясним это на примере. (рис. 14).

Известно, что фазоуказатель дает одинаковые показания при подключении его зажимов *a, b, c* к фазам сети как в порядке АВС, так и в порядке ВСА. Таким образом, если подключить фидеры так, как показано на рис. 14, то асинхронный двигатель при переключении питания будет вращаться в ту же сторону. Однако при переключении питания и наличии напряжения на обоих источниках происходит короткое замыкание между фазами А1-В2 или В1-С2.

Одноименность фаз наиболее просто проверить с помощью фазоуказателя-пробника или вольтметра, включаемых так, как показано на рис. 14. Если фазы одноименные, то напряжение между ними равно нулю и лампа фазоуказателя не горит. В противном случае между фазами А1 и В2 — линейное напряжение сети.

В системах управления асинхронными электродвигателями очень часто для дистанционного управления применяют выносные кнопочные посты. Они соединяются с основным кнопочным постом с помощью трехжильного кабеля так, как показано на рис. 15. Для ускорения прозвонки связей с дистанционным кнопочным постом рекомендуется применять диодное приспособление. Диод включается параллельно кнопке "Пуск" и заземляется (см. рис. 15).

Поиск жил производится с помощью пробника, который щупом 2 подключается к корпусу. При помощи щупа 1 осуществляется поиск заземленной жилы. Затем относительно зазем-

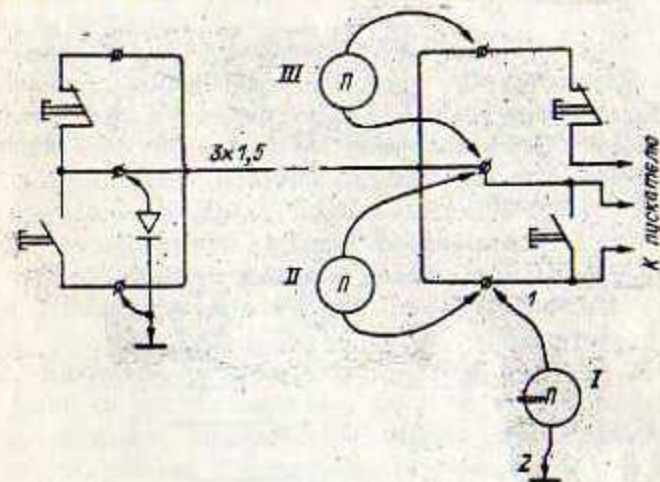


Рис. 15. Прозвонка выносного кнопочного поста.

ленной жилы ищется жила, подключенная к общей точке кнопок "Стоп" и "Пуск". При подключении к жилам, подсоединенным к кнопке "Стоп", пробник дает показания независимо от полярности щупов. При подключении к жилам, подключенным к кнопке "Пуск", показания пробника будут зависеть от полярности щупов. Жила, к которой подключается пробник, в обоих случаях и будет жилой, подключенной к средней точке кнопок "Пуск" и "Стоп", а оставшаяся жила подключена только к кнопке "Стоп".

Следующей операцией настройки является проверка обмоток электродвигателя, технологическими задачами которой являются:

- определение целости обмоток;
- определение начал и концов обмоток, т. е. проверка или



установление маркировки (предписанная стандартом маркировка обмоток приведена в приложении I);

— определение количества полюсов обмотки.

Проверка целостности обмоток производится с помощью омметра или любого аналогичного прибора. Технологически она соответствует приему "прозвонка", и поэтому никаких дополнительных пояснений не требует. Операция осуществляется с целью исключения пуска электродвигателя на двух фазах, и на-

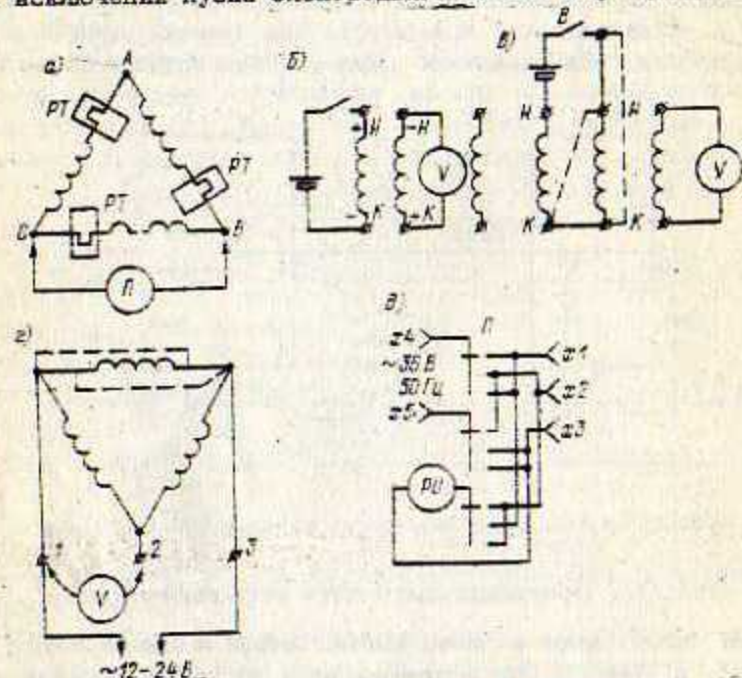


Рис. 15. Проверка целостности (а) и маркировки обмоток (б, в, г).

более целесообразно ее производить не на клеммной коробке двигателя, а на двигательных зажимах контактора, с тем чтобы проверить все соединения и электрические цепи. Измерения следует производить три раза, и результаты сравнивать. Это делается потому, что соединение обмоток между собой может привести к ложному заключению об их целостности. Например, прибор, включенный, как показано на рис. 16, а, будет давать показания, однако обмотка ВС имеет обрыв. Сравнение же результатов измерений дает возможность обнаружить этот обрыв.

Проверка маркировки обмоток может быть осуществлена напряжением как постоянного, так и переменного тока. В первом случае (рис. 16, б) батарею кратковременно включают на одну из фаз, а к другим фазам подсоединяют вольтметр постоянного тока. Путем переключения щупов вольтметра подбирают такое его подключение, при котором в момент включения батареи стрелка прибора дает отклонение вправо от нулевой отметки. В этом случае вывод батареи со знаком "плюс" и вывод вольтметра со знаком "минус" подключены к одноименным выводам обмоток. На рис. 16, б показан именно этот случай. Для контроля следует переключить батарею в другую фазу и повторить проверку.

Дополнительная проверка необходима в особо ответственных случаях (подготовка мощных электродвигателей и т. д.) и может быть произведена этим же методом при попарном включении фаз. Две фазы включаются последовательно (рис. 16, в), и к ним кратковременно подключается батарея. Если фазы соединены одноименными зажимами (сплошные линии на рис. 16, в), то вольтметр не будет реагировать на включение батареи. Если фазы соединены разноименными зажимами (пунктирные линии на рис. 16, в) при подключении и отключении батареи стрелка вольтметра будет отклоняться. Однако этот способ применим только тогда, когда обмотка статора имеет шесть выводов или три вывода, но соединена в звезду.

При проверке переменным током две произвольные фазы обмотки двигателя соединяются последовательно и включаются на пониженное переменное напряжение (12-24 В) вместо батареи. К третьей, свободной, фазе подсоединяется вольтметр или лампа. При правильном соединении фаз одноименными зажимами вольтметр покажет отсутствие напряжения. При соединении двух фаз разноименными зажимами (пунктирные линии на рис. 16, в) вольтметр или лампа покажут присутствие напряжения на третьей обмотке. Маркировка выводов третьей обмотки осуществляется, как и при соединении ее с первой из уже проверенных обмоток.

Если двигатель имеет только три вывода, то правильность соединения фаз в треугольник или звезду проверяется по схеме, приведенной на рис. 16, г, при подаче переменного напряжения 12-24 В на два вывода обмотки и измерении вольтметром напряжения между свободными выводами и каждой из двух фаз. Проверка производится трижды: при подаче напряжения



на выводы 1-2, 2-3, 3-1. При правильном соединении фаз напряжения, измеренные вольтметром, будут равны между собой и составят по величине половину напряжения, приложенного к двум выводам в каждой из трех проверок. Если же одна из фаз "вывернута" (на рис. 16, г. пунктирные линии), то при соединении обмоток в треугольник напряжение между третьим выводом и двумя другими близко к нулю. При соединении обмоток в звезду в двух проверках из трех напряжение между третьим выводом и каждым из двух других будет неодинаковым. "Вывернутой" будет та фаза, которая участвует в обоих замерах, дающих неодинаковые показания вольтметра.

Схема приспособления для проверки целостности и правильности соединения обмоток приведена на рис. 16, д. Обмотки проверяются переменным током по способу, описанному выше. Переключение обмоток и вольтметра осуществляется переключателем В.

У двигателей мощностью до 10 кВт при невозможности применения описанных способов можно проверить маркировку фаз путем пробного включения. Вначале определяют целостность обмоток и принадлежность выводов к отдельным фазам и произвольно маркируют выводы. Для проверки обмотки соединяются звездой и включаются кратковременно (на период замеров) непосредственно на напряжение сети.

Возможно всего четыре варианта включения обмоток двигателя в звезду, но только в одном из них двигатель работает нормально и ток во всех трех фазах одинаков. При проверке обмотки соединяются звездой, и в нулевой точке при нормальной работе двигателя окажутся одноименные выводы (начала или концы) обмоток.

При настройке электроприводов с многоскоростными электродвигателями иногда возникает необходимость определения числа полюсов обмотки статора. Для этого к обмотке статора подключают микроамперметр постоянного тока и вращают ротор двигателя. Под воздействием остаточного магнетизма в обмотке статора возникает ЭДС, которая будет вызывать периодическое отклонение стрелки микроамперметра. Для исключения ошибок нужно выполнить подсчет отклонений стрелки прибора в одну сторону не за один оборот, а за несколько. Число пар полюсов определяют из выражения

$$p = \frac{K}{N},$$

где  $K$  — число отклонений стрелки прибора в одну сторону;  $N$  — частота вращения вала ротора. Синхронная частота вращения по найденному числу пар полюсов вычисляется по формуле (2).

Следующей операцией настройки является "контроль качества изоляции". Из всех параметров, характеризующих качество изоляции при настройке судовых электроприводов, контролируется только сопротивление изоляции. Контроль осуществляется с помощью технологического приема "измерение". Для измерения сопротивления изоляции применяются специальные приборы, называемые мегомметрами, причем сопротивление изоляции це-

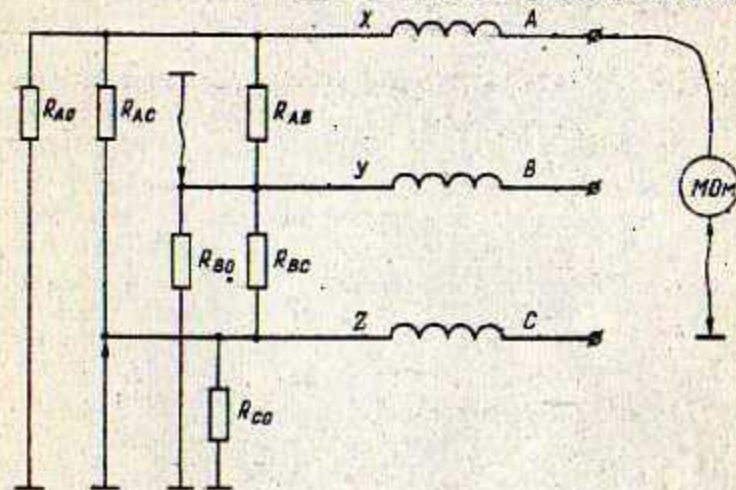


Рис. 17. Схема измерения сопротивления изоляции обмотки.

пей с напряжением до 500 В включительно производится мегомметром с напряжением 500 В, для цепей с напряжением свыше 500 В — мегомметром с напряжением 1000 В.

Для измерения сопротивления изоляции обмотки, не соединенной электрически с другими обмотками, относительно корпуса и других обмоток необходимо подключить один щуп мегомметра к любому выводу этой обмотки, а второй щуп и выводы остальных обмоток соединить с корпусом. При этом прибор покажет значение эквивалентного сопротивления изоляции данной обмотки относительно корпуса и остальных обмоток (рис. 17), так как сопротивления изоляции других обмоток будут замкнуты накоротко относительно корпуса.



Величина этого эквивалентного сопротивления равна

$$\frac{1}{R_{\text{эKB}}} = \frac{1}{R_{AC}} + \frac{1}{R_{AB}} + \frac{1}{R_{BC}}$$

или при  $R_{AB} = R_{AC} = R_{BC}$

$$R_{\text{эKB}} = \frac{1}{3} R_{AC}$$

где  $R_{AB}$  — сопротивление изоляции обмотки фазы относительно обмотки фазы В;  $R_{AC}$  — то же, относительно обмотки фазы С;  $R_{BC}$  — сопротивление изоляции фазы А относительно корпуса.

Очень низкое сопротивление изоляции — до сотен тысяч ом — можно измерять посредством омметров, мостов и т.д. При этом если сопротивление изоляции измерить дважды, при разных полярностях зажима прибора, подсоединяемого к выводу обмотки, то можно совместить операцию "контроль качества изоляции" с операцией "поиск неисправности". Если результаты измерения при разных полярностях неодинаковы, значит, изоляция влажная. Физически это объясняется тем, что обмотки и сталь сердечника представляют собой гальванический элемент, создающий некоторую ЭДС, которая включается встречно или согласно с ЭДС батареи измерительного прибора. При согласном включении общая ЭДС, действующая в измерительной цепи, увеличивается, следовательно, увеличивается и ток, протекающий через измерительный прибор. Увеличению тока соответствует уменьшение показаний прибора, шкала которого проградуирована в омах. При встречном включении все происходит наоборот. Этот эффект не проявляется при измерении сопротивления изоляции с помощью мегомметра, так как его источник питания имеет напряжение, измеряемое сотнями вольт, тогда как ЭДС гальванического элемента обмотка-сталь сердечника составляет единицы вольт.

При одинаковых результатах измерения сопротивления изоляции обмотки омметром наиболее вероятной причиной низкого сопротивления изоляции является загрязненность ее токопроводящей пылью.

Продолжительность измерения сопротивления изоляции мегомметрами устанавливается Правилами Регистра СССР и должна быть не менее 1 мин.

В многофазных многообмоточных электродвигателях сопротивление изоляции должно быть измерено для каждой электрически независимой обмотки. Если установлено, что причиной низкого уровня сопротивления изоляции является ее увлажненность, то единственным средством для повышения его является сушка. Различные способы сушки электрических машин подробно описаны в книге [1].

Оценка эквивалентного сопротивления изоляции всей электрической схемы системы управления относительно корпуса судна может быть произведена с помощью одного измерения в любой из точек схемы, при условии применения переключек I и II, шунтирующих контакт главной цепи и кнопку КНПВ на период измерения (см. рис. 9). Для шунтирования необходимо применять переключки с зажимами типа "крокодил". Использование этого технологического приема целесообразно при настройке сложных систем управления. В этом случае удается сократить трудоемкость операции "контроль качества изоляции" до трудоемкости одного измерения.

По окончании операции "контроль качества изоляции" переходят к операции "проверка функционирования аппаратов защиты". Проверка функционирования реле типа ТРТ рассмотрена выше. Здесь рассмотрим эту операцию применительно к автоматическим выключателям серии А-3700Р.

Приспособление для проверки функционирования полупроводникового расцепителя этого выключателя (рис. 18) подключается к контрольным гнездам 1-3 расцепителя. Напряжение питания 200 В через диод Д1 и ограничительный резистор R1 подается на гнездо 2. Напряжение 11 В, подаваемое через диод Д4 и резистор R4, имитирует протекание номинального тока по полюсам выключателя. Для проверки функционирования расцепителя в зоне перегрузки необходимо подать на него напряжение 18 В, соответствующее току перегрузки, через диод Д3, выключатель В и резистор R3 на гнездо 3. В этом случае начинает работать реле времени, которое с выдержкой времени отключает выключатель. Проверка функционирования выключателя с расцепителем в зоне короткого замыкания производится при подаче кнопкой Кн напряжения 65 В, соответствующего току короткого замыкания, на гнездо 3 через ограничительный резистор R2 и диод Д2. При этом реле короткого замыкания полупроводниковым расцепителем должно сработать и без выдержки времени отключить выключатель.



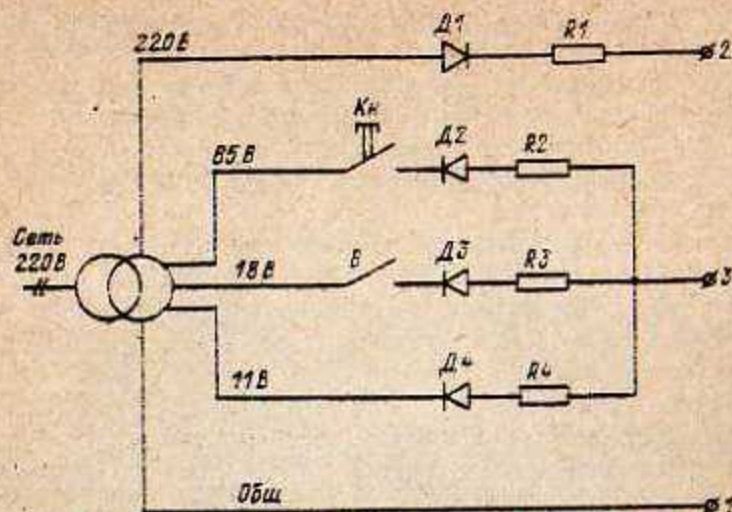


Рис. 18. Приспособление для проверки функционирования автоматических выключателей серии А-3700Р (схема принципиальная электрическая).

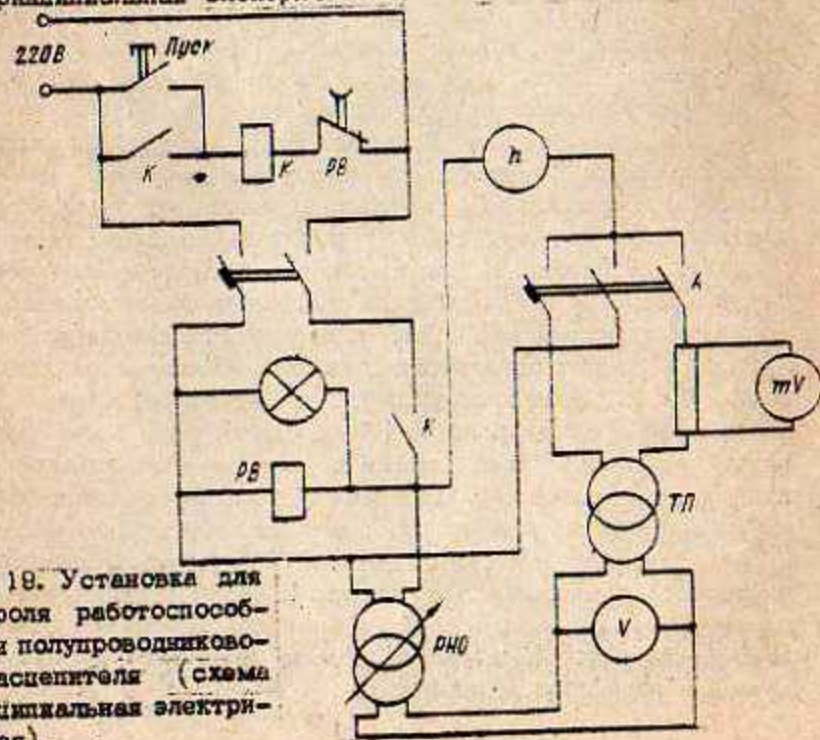


Рис. 18. Установка для контроля работоспособности полупроводникового расцепителя (схема принципиальная электрическая).

При исправном состоянии полупроводникового расцепителя и выключателя, выполняющих все функции, можно переходить к операции "контроль работоспособности аппаратов защиты".

При выполнении этой операции производят контроль:

- уставки номинального тока полупроводникового расцепителя;
- работоспособности полупроводникового расцепителя в зоне перегрузки;
- работоспособности полупроводникового расцепителя в зоне короткого замыкания.

Контроль всех параметров осуществляют с помощью специальной установки, позволяющей создать испытательные токи необходимой величины. Вторичная обмотка испытательного трансформатора изготовлена из медных шин специальной конфигурации для того, чтобы выключатель можно было подключить без перемычек, непосредственно к выводам вторичной обмотки. С другой стороны трансформатора шины вторичной обмотки соединяются шунтом, к потенциальным зажимам которого подключается милливольтметр переменного тока. Ток вторичной обмотки трансформатора протекает через левый и правый полюсы выключателя. Через средний полюс выключателя замыкается цепь электросекундомера (рис. 19). Со стороны подвижных контактов левый и правый полюсы выключателя соединяются перемычкой из медной шины. Основные размеры понижающего трансформатора: высота ярма - 65 мм, ширина ярма - 112 мм, сечение среднего стержня сердечника - 146 x 112 мм, сечение боковых стержней - 72 x 112 мм, длина ярма - 420 мм, высота железа трансформатора с ярмом - 340 мм.

Существенным отличием понижающего трансформатора от трансформаторов других испытательных установок является наличие воздушного зазора между ярмом и сердечником, который позволяет создать испытательный ток большой силы с небольшими искажениями формы кривой напряжения при небольших габаритах трансформатора.

Питание понижающего трансформатора осуществляется через однофазный регулятор напряжения типа РНО-250-10 мощностью 10 кВт от сети напряжением 220 В. Максимальный испытательный ток, развиваемый установкой с этим трансформатором, составляет 12 000 А. Реле времени РВ служит для отключения установки через 10 с при 10-кратном токе или через 20 с при шестикратном токе, протекающем через выключатель.



При регулировке уставки расцепителя на ток, соответствующий фактической нагрузке асинхронного двигателя, необходимо помнить, что пусковой ток двигателя не зависит от нагрузки. Минимальное значение тока, на которое можно отрегулировать расцепитель, определяется не фактической нагрузкой, а из выражения

$$I_{\text{min}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{k_{\text{п}}}, \quad (10)$$

где  $I_{\text{min}}$  — минимальное значение тока, на которое можно отрегулировать расцепитель;  $I_{\text{пуск}}$  — пусковой ток электродвигателя;  $k_{\text{п}}$  — кратность тока короткого замыкания, установленная потенциометром "I/I<sub>н</sub> короткое замыкание" полупроводникового расцепителя.

Если это условие не соблюдается, то при пусках асинхронного двигателя расцепитель будет отключать выключатель.

Контроль работоспособности расцепителя в зоне перегрузки производится при установке рукоятки потенциометра "I/I<sub>н</sub> короткое замыкание" в положение, соответствующее 10-кратному току. В главной цепи выключателя устанавливают ток, равный  $6I_{\text{н}}$ , после чего установка отключается и рукоятка потенциометра "перегрузка  $6I_{\text{н}}$ , с" устанавливается в положение, соответствующее требуемой выдержке времени. Выключается установка, и выключатель отключает шестикратный ток с выдержкой времени, фиксируемой электросекундомером. Если выдержка отличается от требуемой, то с помощью рукоятки потенциометра вносят необходимую поправку и повторяют операцию. Ток  $6I_{\text{н}}$  не должен протекать через выключатель более 30 с, после чего необходимо охладить выключатель в течение не менее 20 мин.

Контроль работоспособности расцепителя в зоне короткого замыкания осложняется тем, что в диапазоне токов от  $8,5I_{\text{н}}$  до  $10I_{\text{н}}$  может одновременно или раньше, чем полупроводниковый расцепитель, сработать расцепитель электромагнитный. Поэтому контроль работоспособности выключателей с расцепителями без замедлителя контактного аппарата в данном диапазоне токов можно производить только при заторможенных электромагнитных расцепителях. В связи с этим наиболее технологично контроль работоспособности и регулировку уставки в зоне короткого замыкания, а также слаточные испытания производить при семикратном токе и соответствующей ему уставке полу-

проводникового расцепителя. Так как в выключателях с замедлителем контактного аппарата электромагнитные расцепители отсутствуют, то их можно настраивать, испытывать на любой уставке полупроводникового расцепителя.

Контроль работоспособности полупроводникового расцепителя в зоне короткого замыкания осуществляется так же, как и в зоне перегрузки. Только для выключателей с замедлителем контактного аппарата помимо прочих операций необходимо измерить выдержку времени в зоне короткого замыкания.

Проверка выключателей, защищающих электродвигатель, без приспособления и уставки складывается из следующих операций:

1. Проверка функционирования расцепителя в зоне короткого замыкания. Запускают несколько раз асинхронный двигатель, причем перед каждым следующим пуском уменьшают уставку расцепителя в зоне короткого замыкания до тех пор, пока не сработает расцепитель и при пуске не отключит выключатель.

2. Проверка уставки номинального тока. Производят пуски электродвигателя аналогично предыдущему пункту, но уменьшают уставку расцепителя по номинальному току до значения, при котором он срабатывает при пуске и отключает выключатель.

3. Проверка функционирования реле времени расцепителя в зоне перегрузки. Эта операция осуществляется только в том случае, когда можно уменьшить уставку расцепителя по номинальному току до значения

$$I_y = 0,8I_{\phi}, \quad (11)$$

где  $I_y$  — новая уставка полупроводникового расцепителя по номинальному току;  $I_{\phi}$  — фактическое значение тока нагрузки выключателя.

В этом случае включают нагрузку и уменьшают уставку расцепителя по номинальному току до значения, соответствующего (11). Расцепитель должен отключить выключатель с выдержкой времени, определяемой его характеристикой.

После выполнения всех операций по настройке аппаратов защиты можно переходить к проверке функционирования системы управления. Эта операция в зависимости от конкретных условий на строящемся судне может производиться отдельно или вместе с операцией "проверка функционирования электропривода с определением направления вращения". Однако для сложных



схем управления, подобных приведенной на рис. 11, наиболее предпочтительным является разделение этих операций. Дополнительным условием для раздельного выполнения операций является необходимость специальной подготовки схемы, которая исключает работу электродвигателя при работе системы управления им. Эта подготовка рассмотрена выше, при описании операции "подготовка электрооборудования к настроенно-сдаточным работам".

Последовательность операций с управляющими органами системы (кнопками, конечными выключателями, датчиками и т.д.) определяется диаграммой взаимодействия элементов.

Преимущество раздельного выполнения операций заключается в том, что возможны многократные проверки системы управления без привлечения механиков и других специалистов и даже задолго до готовности механизма, что особенно важно при агрегатно-модульном методе постройки судов. Все это позволяет снизить трудоемкость настройки судовых электроприводов.

При проверке функционирования систем управления многочастотными двигателями необходимо установить порядок чередования фаз на выводных клеммах главной цепи во всех режимах работы системы. Если напряжение на двигатель не подается, то порядок следования фаз определяется с помощью пробника, как показано на рис. 15.

Проверка функционирования электропривода с определением направления вращения производится в несколько этапов. На первом этапе с помощью системы управления двигатель включают на 1-2 с. При этом проверяют состояние механизма и механической части электропривода и направление вращения электродвигателя (при вращении его по инерции). Убедившись в правильности направления вращения и исправности механической части (по заключению механиков), производят пуск электродвигателя и дают ему разогнаться до номинальной частоты вращения. При этом контролируют состояние механической части и работу электродвигателя. Убедившись в исправности, электродвигатель останавливают. Контроль на этом этапе осуществляется с помощью технологического приема "визуальный контроль" (без применения измерительных приборов).

Такие проверки следует повторить для каждой частоты вращения. В случае неправильного включения обмоток разных частот вращения при переключении электродвигатель может

начать вращаться в обратную сторону, что приводит к повышенным механическим нагрузкам и чрезмерно большим броскам тока, а в некоторых случаях и к повреждениям электропривода. Необходимо заранее проверить направление вращения электродвигателя для каждого числа пар полюсов, особенно в тех случаях, когда заводская маркировка была нарушена и восстанавливалась методами, описанными выше в данном разделе.

После проведения этой операции надо проверить одноименность зажимов обмоток разных частот вращения. Предварительно при обесточенных электродвигателе и системе управления к зажимам проверяемой обмотки подключается указатель порядка следования фаз или фазоуказатель-пробник типа ФП-1 [8]. После чего на обмотку любой другой скорости подают напряжение и определяют порядок следования фаз в проверяемой обмотке. Определить одноименность выводов обмоток разных частот вращения можно и при неподвижном роторе. В этом случае в одну из обмоток подают пониженное напряжение (12-24 В), а в проверяемую обмотку через повышающие трансформаторы (12/220 В) подсоединяют фазоуказатель-пробник.

Необходимо отметить, что есть целый ряд электроприводов, например, циркуляционный насос главного контура в атомном реакторе, электропривод автоматических выключателей и другие, которые не допускают вращения электродвигателя в обратную сторону. При их использовании следует особенно тщательно определять направление вращения и маркировку обмоток.

Проверив функционирование электропривода, переходят к контролю его работоспособности. Для этого электродвигатель запускают на 20-30 мин. Во время его работы измеряют токи в фазах электродвигателя и удерживающих катушках контакторов, а также с помощью специального шупа прослушивают работу подшипников. Одновременно проверяют нагревание железа статора и подшипников. Хотя за это время детали машины даже небольшой мощности не успевают нагреться до установившейся температуры, по характеру ее нарастания можно судить о том, в какой части машины есть избыточное выделение тепла. Повреждение обмоток машины и катушек реле или контакторов можно определить также по "электрическому" запаху горелой изоляции, который, как правило, появляется раньше, чем обмотка успеет нагреться.

О работоспособности электродвигателя с высокой степенью достоверности можно судить по величине тока и частоты



вращения или по скольжению, так как в широком диапазоне изменения нагрузки сила тока прямо пропорциональна мощности, потребляемой электродвигателем из сети, и при  $I < I_H$  и  $\delta \sim \delta_H$  измерять мощность нет необходимости. Трудоемкость измерения силы тока существенно ниже трудоемкости измерения мощности, так как сила тока может быть измерена без разрыва цепи тока токоизмерительными клещами.

Скольжение двигателя определяется индукционным методом. В качестве индукционной катушки используют катушку реле или контактора, содержащую от 3 до 20 тыс. витков. Внутри катушки вставляется сердечник из трансформаторной стали. Катушка размещается у конца вала ротора, и путем изменения ее положения добиваются максимальных отклонений стрелки прибора, подключенного к зажимам катушки. В качестве прибора используют микроамперметр, шкала которого имеет нуль посередине. По числу полных колебаний  $\psi$  за время  $t$  рассчитывается величина скольжения. При частоте тока питающей сети 50 Гц удобно измерить время  $t$  50 полных колебаний стрелки. Тогда скольжение

$$s = \frac{100}{t} \cdot \% \quad (12)$$

После устранения выявленных неисправностей операцию "контроль работоспособности" повторяют и только при получении допускаемых значений контролируемых параметров переходят к сдаточным испытаниям.

## § 5. ДЕФЕКТЫ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Операция "поиск дефекта" занимает в технологическом процессе настроечно-сдаточных работ особое место (см. рис. 12). При построении технологического процесса настройки необходимо указывать условия перехода к операции "поиск дефекта" для каждой из операций настройки. Однако, несмотря на принципиальную невозможность настройки систем без выявления тех или иных дефектов, существующие технологические перечни не предусматривают выполнение этой операции и соответственно не учитывают трудовые затраты на ее осуществление. Сказанное иллюстрируется укрупненным технологическим перечнем, приводимым в § 6.

Анализ фактических трудовых затрат показывает, что поиск дефекта занимает от 40 до 70% времени настройки и является самой сложной из всех операций.

Дефекты, которые возникают в судовых электроприводах, могут быть механическими или электрическими. К механическим относят дефекты в подвижных системах контакторов и реле, переключателей и т. д. К электрическим — нарушение контакта, короткое замыкание, дефект изоляции, обрыв электрической цепи, ошибки в электрических схемах и т. д.

Найти дефект — значит найти отказавший элемент, ошибку при монтаже или элемент, параметры которого не соответствуют техническим требованиям.

Операция "поиск дефекта" при настройке судовых электроприводов выполняется с помощью следующих технологических приемов: визуального контроля, прозвонки, сравнения, промежуточных измерений, введения дополнительного дефекта.

Рассмотрим эти приемы подробнее.

**Визуальный контроль.** Проверяемый элемент или аппарат внимательно осматривают. Отказ или дефект элемента обнаруживают по различным признакам: механическим повреждениям, почернению, следам нагара, оплавлению и т. д. При осмотре под напряжением обращают внимание на искрение, пробой, дым, перегрев элементов и т. д.

Большим достоинством этого приема является его простота. При настройке судовых электроприводов он применяется чаще других.

**Сравнение.** Технологически прием заключается в том, что сравниваются результаты проверки данной системы управления или электропривода в целом с результатами проверки такой же, но заведомо исправной системы.

**Промежуточные измерения.** Этот технологический прием заключается в проверке прохождения сигнала от элемента к элементу. Прием особенно удобен и прост для релейно-контакторных систем управления электроприводами. Проиллюстрируем его. Пусть неисправность проявляется следующим образом. При нажатии на кнопку КИП (см. рис. 13) контактор не срабатывает. Для поиска дефекта с помощью этого приема применим индикатор И, один щуп которого подключим к фазе В, а вторым будем проверять прохождение сигнала, поочередно подключая его в точки схемы. Загорание индикатора свидетельствует об исправности цепи на участке до данной точки. Пусть



в точке  $M$  индикатор не дает показаний. Это значит, что либо контакт кнопки  $KHС$  не замкнут, либо нет соединения между точками  $W$  и  $M$ . Перенеся шуп пробника в точку  $W$ , убедимся, что кнопка  $KHС$  замкнута и, следовательно, неисправность заключена в нарушении соединения точек  $W$  и  $M$ .

Анализируя данный дефект, можно заметить, что основная сложность операции "поиск" дефекта заключается в том, что поиск ведется по правильной схеме и настройщику приходится представлять, какой будет схема при наличии в ней дефекта. Для сложных схем может оказаться полезным изображение той части схемы, в которой существует дефект с предлагаемым вариантом схемы в этом случае.

Введение дополнительного дефекта. Суть данного технологического приема заключается в следующем. Какой-либо участок цепи шунтируют или разрывают, отключают питание с части схемы, т. е. вносят дополнительный дефект. При этом наблюдают и анализируют поведение проверяемого элемента или системы. Прием достаточно удобно применять в схемах управления асинхронными двигателями с реле и контакторами, но при этом необходимо предварительно проанализировать поведение системы и ее элементов после введения дополнительного дефекта.

Рассмотрим этот технологический прием на примере. Анализируя характер дефекта, можно выдвинуть несколько гипотез о его причине: неисправна катушка  $K$ ; питание от фазы  $A$  не подается на зажимы катушки  $K$ ; на зажимы катушки  $K$  не подается питание от фазы  $B$ .

Проверим две последние гипотезы. Введем дополнительный дефект, замкнув накоротко цепь от точки  $A$  до зажима 1 катушки  $K$  (для проверки второй гипотезы) и от точки  $B$  до зажима 2 катушки  $K$  (см. рис. 13). Рассмотрим возможные последствия введения дополнительного дефекта. Замыкая цепь от точки  $A$  до точки 1, помимо кнопок и контактов теплового реле мы в одной фазе лишаем защиты цепь управления. Однако в другой фазе остается предохранитель, который сможет отключить аварию. Кроме того, цепь защищена автоматическим выключателем. Аналогичное рассуждение можно провести и для третьей причины дефекта.

С целью повышения степени защиты цепей управления при проверке можно рекомендовать замыкать цепь не между точками  $A$  и 1 ( $B$  и 2), а между точками 3 и 1 (4 и 2). В этом случае

одновременно с проверкой выдвинутой гипотезы удастся проверить и исправность предохранителей. Остановимся на последнем способе введения дополнительного дефекта. Предварительно отключив питание выключателем, соединяем перемычкой  $F$  точки 3 и 1. Для этой цели используют специальные перемычки с зажимами типа "крокодил". Поставив перемычку, подаем питание и проверяем срабатывание контактора. Если контактор сработал, то неисправность заключена в цепи между точками 3 и 1. Применим этот же прием второй раз, подключив перемычку  $F$  в точку  $M$  (отключив от точки 3), предварительно отключив выключатель. Поставив перемычку между точками 1 и  $W$ , подаем питание и проверяем срабатывание контактора. Если он сработал, то дефект заключен в цепи между точками 3 и  $W$ .

Если при проверке двух последних гипотез контактор не срабатывает, это значит, что неисправна катушка  $K$ .

Помимо знания основных технологических приемов, применяемых при поиске дефекта, необходимо выбрать метод поиска. Применение любого метода при поиске дефекта подразумевает обязательный анализ полученной в результате проверок информации и выработку некоторых гипотез о причине неисправности. Здесь уместно привести известное высказывание Д. И. Менделеева: "Лучше придерживаться гипотезы, которая окажется ошибочной, чем никакой". Ведь проверка даже ложной гипотезы приближает нас к конечному результату, так как сужает круг поиска и дает возможность получить дополнительную информацию о состоянии проверяемой системы.

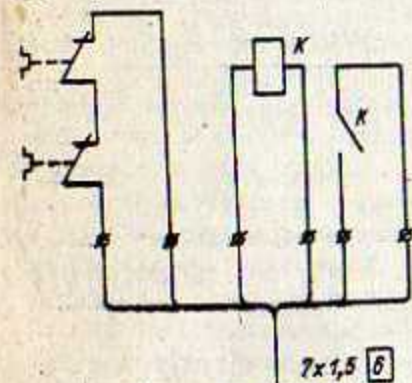
Для релейно-контакторных систем можно рекомендовать комбинационный метод поиска и его упрощенную разновидность — поэлементную проверку всей схемы. Собственно комбинационный метод представляет собой совокупность проверок, выполняемых с помощью перечисленных выше технологических приемов, результаты которых анализируются. На основе анализа выдвигаются гипотезы о причине и месте дефекта, проверка которых позволяет найти отказавший или неисправный элемент.

Если проводится поэлементная проверка всей схемы, то по ее результатам все элементы подразделяются на две большие группы по признаку "годен" — "не годен". Недостаток этого метода — большая трудоемкость поиска дефекта. В больших и сложных схемах этот недостаток имеет решающее значение, однако в рассматриваемых нами системах он не играет большой роли.



Дефекты в схемах могут возникать и как результат естественных процессов, и как результат ошибок при проектировании, монтаже и настройке. Настройщикам хорошо известно, что не всякое схемное решение, даже не содержащее явных ошибок, может быть осуществлено на деле, т. е. схемное решение не всегда реально. Таким образом, настройщику приходится искать дефект задолго до начала НСР, еще в период изучения документации. Поясним сказанное при мером. На рис. 20 приведена принципиальная электрическая схема пускателя ПМ1100 с некоторыми изменениями, сделанными для включения катушки от постороннего источника.

Однако эта принципиальная схема не может быть реализована на практике с соблюдением всех технологических требований, так как катушка К имеет гибкие выводы, рассчитанные на подключение к клеммам контактов реле ТРТ.



7x1,5 [6]

К пульту управления

Рис. 20. Пускатель ПМ1100. Схема цепей управления.

В табл. 2 приведены наиболее характерные виды дефектов в контакторах. Существуют дефекты, общие для всех электрических машин независимо от их типа и конструкции и характерные только для данного типа электрических машин. Большую помощь при поиске оказывает знание дефектов, которые можно назвать "типовыми". Рассмотрим некоторые из типовых дефектов электрических машин.

1. Двигатель при пуске не разворачивается или вращение его ненормально. Пуску электродвигателя могут препятствовать причины различного характера: механического (повышенный момент сопротивления) или электрического (момент, развиваемый электродвигателем при пуске, недостаточен). Для выяснения причины (механическая или электрическая) необходимо разъединить механизм и двигатель. Если при этом двигатель начинает вращаться нормально, то причина механическая. Косвенный признак, подтверждающий механический характер причины, — одинаковый ток во всех фазах статора. В редких случаях причиной механического характера может быть неисправность самого электродвигателя — повреждение под-

шипника, перекос подшипниковых щитов, задевание ротора о статор. При небольших мощностях электродвигателей эти неисправности могут быть выявлены при проворачивании ротора вручную.

Причины электрического характера значительно многообразнее. В числе главных можно назвать:

- обрывы в главной цепи системы управления;
- обрыв одной фазы обмотки статора при соединении звездой;

Таблица 2

Вид дефекта	Причины дефекта
Контактор не включается	Нет напряжения в цепи управления Заклинивание подвижной системы контактора Обрыв цепи управления или обмотки катушки
Чрезмерное гудение магнитной системы на переменном токе	Напряжение на зажимах втягивающей катушки ниже 0,85 номинального Якорь неплотно прилегает к сердечнику Нажатие в контактах: выше допустимого Заедает ось якоря

— неправильное соединение обмоток отдельных фаз между собой.

Обнаружение первых двух дефектов производится с помощью технологического приема "прозвонка", точно так же, как описано в технологическом процессе настройки выполнение операции "проверка обмоток электродвигателя".

При отсутствии обрыва следует проверить маркировку обмоток и соединение их между собой.

2. Частота вращения электродвигателя при номинальной нагрузке ниже номинальной. Возможными причинами этого дефекта являются:



- пониженное напряжение питающей сети;
- обрыв одной фазы обмотки статора при соединении их треугольником;

- соединение обмоток статора звездой вместо треугольника.

Проверка гипотез производится в приведенной последовательности: вначале измеряют напряжение сети, затем, в случае номинального напряжения, целостность обмоток (см. § 4) и только потом проверяют схему соединения.

Если на табличке двигателя указаны схема соединения обмоток, рабочие напряжения и ток, то проверяют схему соединения обмоток, ориентируясь на табличные данные. При отсутствии таблички или отсутствии на ней этих данных необходимо хотя бы ориентировочно, по габаритам или справочным данным для аналогичного двигателя, определить возможную мощность электродвигателя и вычислить значение тока для соединения обмоток звездой и треугольником. Полученные значения сравнивают с измеренными и делают вывод о предполагаемой схеме включения обмоток. Однако этот способ можно рекомендовать только в крайних случаях, когда нет возможности узнать номинальный ток электродвигателя из документов.

3. Чрезмерное нагревание частей электродвигателя. Причинами чрезмерного нагревания могут быть:

- отклонение напряжения от номинального значения;
- перегрузка электродвигателя со стороны приводимого в действие механизма;
- включение обмоток статора треугольником вместо звезды;
- ухудшение условий охлаждения.

Порядок проверки гипотез соответствует порядку их перечисления. Заметим, что при всех дефектах в асинхронных электродвигателях необходимо измерить напряжение питающей сети. Первые три из перечисленных причин говорят об увеличении количества тепла, выделяемого в электродвигателе, а последняя - об уменьшении отвода тепла, выделяемого в электродвигателе.

Способы проверки первых трех гипотез уже описаны, поэтому остановимся на последней, которая рассматривается в том случае, когда первые три гипотезы в результате проверок исключены.

Ухудшение условий охлаждения может быть вызвано:

- высокой температурой окружающего воздуха (выше 45°C);
- засорением вентиляционных каналов машин и фильтров;

- плохой расконсервацией электродвигателя, при которой не были сняты заглушки вентиляционных каналов.

Замеченные при внешнем осмотре дефекты следует устранить.

Здесь приведены только основные, наиболее характерные для периода НСР дефекты, появление которых в той или иной степени вызвано качеством выполнения операций настройки. Наиболее подробно они описаны в работе [1].

## § 6. СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Сдаточные испытания являются заключительным этапом НСР. К их выполнению приступают после выполнения всех операций настройки. Сдаточные испытания производятся в заданных условиях работы испытываемого изделия. На этой стадии осуществляется контроль его работоспособности в присутствии представителя ОТК и (или) заказчика.

Важной частью сдаточных испытаний судовых электроприводов является определение их электрических параметров. Подробная классификация сдаточных испытаний приведена в учебном пособии [8].

По своему технологическому и трудовому содержанию сдаточные испытания представляют повторение операции настройки "контроль работоспособности", которая рассмотрена выше, в технологическом процессе настройки.

Основными нормативными документами, определяющими порядок проведения сдаточных испытаний судовых электроприводов, являются:

ОСТ 5.6053-74. Электрооборудование судовое. Типовые программы швартовых и заводских ходовых испытаний.

ОСТ 5.6054-74. Электрооборудование судовое. Аппараты и устройства защиты. Типовые методики швартовых испытаний.

ОСТ 5.6057-74. Электрооборудование судовое. Электроприводы рулевых устройств и палубных механизмов. Типовые методики швартовых испытаний.

ОСТ 5.6058-74. Электрооборудование судовое. Электроприводы судовых систем, бытовых и вспомогательных механизмов. Электронагревательные приборы. Типовые методики швартовых испытаний.



Рассмотрим для примера программу испытаний компрессора с автоматическим управлением (ту ее часть, которая связана с электрической схемой).

1. Проверяется работа электрокомпрессора совместно с трубопроводами, арматурой и приборами на продолжительность заполнения баллонов пусковым воздухом до достижения давления 2,5 МПа. Проверка производится при местном управлении. Проверяется работа аварийно-предупредительной сигнализации о падении давления в баллонах.

2. Проверяется работа электрокомпрессора с трубопроводами, арматурой и приборами на продолжительность заполнения баллона аварийного дизель-генератора воздухом до получения давления в нем 2,5 МПа. Проверка производится на местном управлении. Проверяется работа аварийно-предупредительной сигнализации о падении давления в баллоне.

3. После завершения испытаний на местном управлении дважды проверяется работа электрокомпрессора на автоматическом управлении.

4. Проверяется работа аварийно-предупредительной сигнализации электрокомпрессора и воздушной системы.

5. При испытаниях по пп. 1 и 2 измеряется мощность, потребляемая электродвигателем из сети.

Если технологичность настройки систем управления в первую очередь определяется технологичностью схемной реализации, то технологичность сдаточных испытаний зависит прежде всего от программы испытаний. Рассмотрим с этой точки зрения приведенную программу.

Трудоемкость контроля работоспособности в режиме автоматического управления больше, чем в режиме местного управления, так как для запуска и остановки электродвигателя компрессора в этом случае необходимо получить от датчиков давления соответствующие сигналы, и поэтому двойная проверка работы электрокомпрессора удваивает их трудоемкость и продолжительность, так как требует повторения проверок по пп. 1 и 2, но в режиме автоматического управления. В то же время продолжительность контроля работоспособности системы в режиме местного управления определяется практически только продолжительностью запуска и остановки двигателя от контрольного поста и не связана с давлением воздуха в баллонах.

На основании изложенного, а также учитывая, что целью испытаний является контроль работоспособности настроенной

и исправной системы, представляется целесообразным проверку режимов работы электроприводов, аналогичных пп. 1 и 2 приведенной программы, производить при автоматическом управлении, а проверку местного или дистанционного управления осуществлять во время кратковременных пусков и остановок электродвигателя.

Таким образом, представляется возможным снизить трудоемкость испытаний почти в два раза.

Продолжительность сдаточных испытаний во многом определяется необходимостью длительной работы электрической машины при повышенной нагрузке с целью определения установившейся температуры.

Используя свойства кривых нагрева, приведенных на рис. 3, можно найти установившуюся температуру за более короткий срок, не дожидаясь того момента, когда скорость изменения температуры покажется до  $1^\circ\text{C}/\text{ч}$ . При постоянстве нагрузки и температуры окружающей среды установившаяся температура определяется по результатам трех измерений температуры электрической машины через одинаковые промежутки времени по формуле:

$$\theta_{уст} = \frac{\Delta\theta_2 \theta_1 - \Delta\theta_1 \theta_2}{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1},$$

где  $\theta_1$  — температура электрической машины через промежуток времени  $t$  после начала испытаний;  $\theta_2$  — температура электрической машины через промежуток времени  $2t$  после начала испытаний;  $\Delta\theta_1 = \theta_1 - \theta_0$  — изменение температуры электрической машины за время  $t$  от начала испытаний ( $\theta_0$  — температура электрической машины в начале испытаний);  $\Delta\theta_2 = \theta_2 - \theta_1$  — изменение температуры электрической машины за промежуток времени от  $t$  до  $2t$ .

При использовании термометров с абсолютной погрешностью  $0,5^\circ\text{C}$  максимальная ожидаемая абсолютная погрешность вычисления установившейся температуры этим способом не превышает  $4^\circ\text{C}$ , что вполне допустимо для поверочных испытаний, а продолжительность испытаний сократится на 25-50%.

В заключение приведем упрощенный перечень работ, которые выполняются при использовании принятой технологии НСР электроприводов судовых устройств и систем (табл. 3).



Таблица 3

Наименование работ	Удельный вес работ, %
Подготовительные работы	
Ознакомление с технической документацией	7
Подготовка технологической оснастки	5
Внешний и внутренний осмотр аппаратов, расконсервация, проверка качества монтажа	5
Измерение сопротивления изоляции	5
Подключение приборов, проверка готовности электропривода к работе	8
Итого	30
Настроечные работы:	
Проверка работы электропривода на холостом ходу, проверка электромагнитного тормоза	5
Проверка работы электропривода при номинальной нагрузке, измерение электрических параметров	20
Проверка работы пускорегулирующих аппаратов дистанционного управления и сигнализации	20
Отключение контрольно-измерительных приборов, измерение температуры подшипников	5
Итого	50
Сдаточные работы	
Сдача схемы ОТК	10
Сдача схемы заказчику	10
Итого	20
Всего	100

Приложение I

## ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Выводы обмоток электрических машин переменного тока согласно ГОСТ 183-74 обозначаются следующим образом:

- обмотки статора (якоря) синхронных и асинхронных машин - буквой С;

- обмотки ротора асинхронных машин - буквой Р;

- обмотки возбуждения (индуктора) синхронных машин - буквой И.

Начала и концы обмоток и соответствующие им фазы и нулевая точка (независимо от того, заземлена она или нет) обозначаются цифрами согласно табл. I.1

Таблица I.1

Схема соединения обмоток статора	Число выводов	Названия выводов	Обозначение	
			начало	конец
Открытая схема	6	Первая фаза	C1	C4
		Вторая "	C2	C5
		Третья "	C3	C6
Соединение звездой	3 или 4	Первая фаза	C1	
		Вторая "	C2	
		Третья "	C3	
		Нулевая точка	0	
Соединение треугольником	3	Первый зажим	C1	
		Второй "	C2	
		Третий "	C3	

Начало и конец каждой обмотки обозначают одной и той же прописной буквой с поставленной после нее цифрой 1 для начала обмотки и 2 - для конца. Обозначение выводов для машины с одним направлением вращения должно быть таким, чтобы при подключении к ним одноименных фаз сети ротор вращался в заданном направлении.

Выводы составных и секционированных обмоток статоров асинхронных двигателей обозначаются теми же буквами, что



и простых обмоток (см. табл. I.1), но с добавлением цифр впереди прописных букв согласно табл. I.2.

Таблица I.2

Для первой обмотки		Для второй обмотки	
1C1	1C4	2C1	2C4
1C2	1C5	2C2	2C5
1C3	1C6	2C3	2C6

Обозначение выводов секционированных обмоток многоскоростных электродвигателей с переключением числа пар полюсов для регулирования частоты вращения дополняется цифрами впереди прописных букв, указывающими число пар полюсов данной секции (табл. I.3).

Таблица I.3

Для 4 полюсов	Для 6 полюсов	Для 8 полюсов	Для 12 полюсов
4C1	6C1	8C1	12C1
4C2	6C2	8C2	12C2
4C3	6C3	8C3	12C3

Кольца двигателей с фазным ротором обычно не обозначаются, однако они располагаются на валу в порядке, при котором кольцо P1 наиболее удалено от обмотки ротора (табл. I.4).

Таблица I.4

Число выводов на контактных кольцах	Название выводов	Обозначение выводов
3 или 4	Первая фаза	P1
	Вторая "	P2
	Третья "	P3
	Нулевая точка	0

## ДОПУСКАЕМЫЕ ПРЕВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1. Согласно ГОСТ 183-74 температура подшипников не должна превышать следующих предельно допустимых значений:

80°C - для подшипников скольжения (температура масла при этом не должна быть более 85°C);

100°C - для подшипников качения.

Допускается более высокая температура, если есть указания в стандартах или технических условиях на данный вид машины.

2. Предельно допустимые превышения температуры обмоток электрических машин при температуре газообразной охлаждающей среды 40°C при измерении по методу термометра не должны превышать следующих значений (если не указаны в стандартах или условиях на конкретный вид машины):

65°C - для изоляции класса А;

80°C - для изоляции класса Е;

90°C - для изоляции класса В;

110°C - для изоляции класса F;

135°C - для изоляции класса Н.

3. Превышение температуры неизолированных короткозамкнутых обмоток, сердечников и других стальных частей, не соприкасающихся с изолированными обмотками, ГОСТ 183-74 не устанавливается. Однако превышение температуры не должно достигать значений, при которых создается опасность повреждения самих элементов и соседних частей.

4. При температуре газообразной охлаждающей среды выше 40°C (но не выше 60°C) предельные допускаемые превышения температуры уменьшаются на разность между температурой охлаждающей среды и температурой 40°C.

5. При температуре газообразной охлаждающей среды ниже 40°C предельно допускаемые превышения температуры могут быть увеличены на разность между температурой охлаждающей среды и температурой 40°C, но не более чем на 10°C.



Приложение III

НОРМЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРИОДА  
ШВАРТОВНЫХ ИСПЫТАНИЙ, МОм

Электрооборудование	Состояние электрооборудования	
	холодное	горячее
Электрические машины мощностью до 100 кВт	5	8
	8	1
от 100 до 1000 кВт		
Трансформаторы	5	1
Распределительные щиты	1	—
Пускорегулирующая аппаратура	5	—
Фидер силовой сети	1	—

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин. Л., "Энергия", 1969.
2. ГОСТ 183-74. Машины электрические. Общие технические требования.
3. ГОСТ 7217-88. Электродвигатели трехфазные асинхронные мощностью от 100 Вт и выше. Методы испытаний.
4. ГОСТ 11828-75. Машины электрические. Методы испытаний.
5. Жерве Г. К. Руководство для электромонтеров по испытанию электрических машин. М. - Л., Госэнергоиздат, 1955.
6. Захаров О. Г. Настройка аппаратуры и систем судовой электров автоматики. Л., "Судостроение", 1975.
7. Каминский Е. А. Техника чтения схем электроустановок. М., "Энергия", 1972.
8. Справочник судового электротехника. Т. 3. Л., "Судостроение", 1975.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
§ 1. Судовые асинхронные электродвигатели . . . . .	5
§ 2. Аппараты систем управления судовыми электроприводами . . . . .	13
§ 3. Системы управления судовыми электроприводами . . . . .	22
§ 4. Технологический процесс настройки судовых электроприводов . . . . .	30
§ 5. Дефекты судовых электроприводов . . . . .	48
§ 6. Сдаточные испытания судовых электроприводов . . . . .	55
Приложение I. Обозначения выводов электрических машин . . . . .	59
Приложение II. Допускаемые превышения температуры частей электрических машин . . . . .	61
Приложение III. Нормы сопротивления изоляции электрооборудования для периода швартовых испытаний . . . . .	62
Указатель литературы . . . . .	63

Олег Георгиевич Захаров

### НАСТРОЙКА СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Редактор Т. Н. Сморгалова. Художественный редактор В. А. Пурицкий. Технический редактор Т. Н. Корманова. Корректор А. В. Осокина.  
Переплет художника Л. Л. Яценко.  
ИБ № 470

Слано в набор 1/ХП-77 г. Подписано к печати 29/У-78 г.

М - 13527. Формат 60x84/16. Бумага типографская № 2. Физ. печ. л. 4. Усл. печ. л. 3,5. Тираж 2400 экз. Заказ № 9 Изд. № 3345-77.

Цена 15 коп.

Издательство "Судостроение", 191065, Ленинград, ул. Гоголя 8.

Ротапринт ЦНИИ имени акад. А. Н. Крылова